

GIS V SLOVENIJI DIGITALNE VEZI

**MATEJA BREG VALJAVEC
ROK CIGLIČ
DRAGO PERKO
LENART ŠTAUT
JERNEJ TIRAN
MATIJA ZORN**



17



Založba ZRC

GIS V SLOVENIJI 17
DIGITALNE VEZI



Založba ZRC

GIS V SLOVENIJI 17

DIGITALNE VEZI

Uredili:

Mateja Breg Valjavec
Rok Ciglič
Drago Perko
Lenart Štut
Jernej Tiran
Matija Zorn

LJUBLJANA 2024

GIS V SLOVENIJI 17

DIGITALNE VEZI

Mateja Breg Valjavec, Rok Ciglič, Drago Perko, Lenart Štaut, Jernej Tiran, Matija Zorn

© 2024, Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

Uredniki: Mateja Breg Valjavec, Rok Ciglič, Drago Perko, Lenart Štaut, Jernej Tiran, Matija Zorn

Uredniški odbor: Mateja Breg Valjavec, Rok Ciglič, Milan Kobal, Žiga Kokalj, Marko Krevs, Krištof Oštir, Drago Perko, Tomaž Podobnikar, Mojca Poklar, Blaž Repe, Lenart Štaut, Tomaž Šturm, Jernej Tiran, Mihaela Triglav Čekada, Timotej Verbovšek, Matija Zorn

Recenzenti: Mateja Breg Valjavec, Rok Ciglič, Luka Čehovin Zajc, Mateja Jemec Auflič, Žiga Kokalj, Marko Krevs, Drago Perko, Tomaž Podobnikar, Blaž Repe, Lenart Štaut, Tomaž Šturm, Jernej Tiran, Mihaela Triglav Čekada, Matija Zorn

Izdajatelj: Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

Za izdajatelja: Matija Zorn

Založnik: Založba ZRC

Za založnika: Oto Luthar

Glavni urednik založbe: Aleš Pogačnik

Prelom: SYNCOMP d. o. o., Ljubljana

Tisk: Present, d. o. o.

Naklada: 300 izvodov

Prva izdaja, prvi natis. Prva e-izdaja.

Naslovnica:

V pokrajini je nameščenih čedalje več merilcev različnih vrst, ki ustvarjajo nevidne digitalne vezi. Na fotografiji je primer vinograda v Slovenskih goricah, kjer so nameščeni merilci vlage in temperature v prsti ter dežemer, ki je viden opazovalcu, na sliki pa skrit med trtami. Avtorica fotografije: Mateja Ferk.

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

<https://doi.org/10.3986/9789610508885>

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

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

ISBN 978-961-05-0887-8

COBISS.SI-ID 204289283

ISBN 978-961-05-0888-5 (PDF)

COBISS.SI-ID 203593219

VSEBINA

<i>Luka Zaletelj, Blaž Repe</i> Geoinformacijska podpora odločanju pri opredelitvi omejitev in primernosti za letenje brezpilotnih zrakoplovov v odprti kategoriji	9
<i>Špela Čonč, Jure Tičar</i> Povezanost razporeditve jamskih vhodov in mikroreliefnih značilnosti kraškega površja: primer slovenskega dinarskega krasa	23
<i>Mihaela Triglav Čekada, Katja Oven</i> Digitalne vezi geodetskih znamenj med preteklostjo in sedanostjo	41
<i>Branka Brancelj Kular, Marko Premelč, Vitomir Wolf</i> Upravljanje prostora na lokalni ravni z uporabo geografskih informacijskih sistemov	51
<i>Jure Pavšek, Blaž Repe, Peter Mikša, Urban Pipan</i> Virtualne tematske poti z lokacijsko obogateno resničnostjo – primer mobilne aplikacije PolhAR	61
<i>Timotej Verbovšek, Galena Debevec Jordanova</i> Uporaba satelitske interferometrije InSAR za spremljavo premikov kompleksnega plazovitega območja na Rebrnicah vzdolž hitre ceste Razdrto-Vipava	71
<i>Martin Fale, Klemen Prah</i> Primerjava dostopnosti obstoječih enot nujne medicinske pomoči s predlogoma iz let 2022 in 2024	83
<i>Blaž Barborič, Maja Baloh</i> Dostopni prostori za vse – izboljšanje dostopnosti turizma za invalide v srednji Evropi	93
<i>Jani Demšar, Marina Lovrić</i> Povezovanje prostorskih baz za omogočanje mobilnosti različno oviranih oseb	105
<i>Adam Gabrič, Dejan Grigillo, Žiga Kokalj</i> Vpliv položajne neskladnosti podatkov daljinskega zaznavanja na klasifikacijo dreves	119
<i>Urša Kanjir, Aleš Marsetič, Marko Peljhan, Žiga Kokalj</i> Kartiranje gozdnih požarov na Krasu z različnimi viri daljinsko zaznanih posnetkov	131
<i>Boštjan Kop, Nataša Golobič, Kristof Oštir, Jernej Tekavec, Anže Žnidaršič</i> DRAJV zemljevid: izdelava spletne GIS aplikacije za prikaz voznih navad in prometne varnosti na slovenskih cestah	143

<i>Ana Potočnik Buhvald, Krištof Oštir, Rudi Kraševac, Tomaž Jančar</i> Analiza časovnih vrst Sentinel-2 in PlanetScope za detekcijo košenj na presihajočem Cerkniškem jezeru (2017–2023)	155
<i>Alen Mangafić, Primož Kete</i> Samodejna zaznava prometnic z globokim učenjem na podatkih Cikličnega laserskega skeniranja Slovenije	169

GEOINFORMACIJSKA PODPORA ODLOČANJU PRI OPREDELITVI OMEJITEV IN PRIMERNOSTI ZA LETENJE BREZPILOTNIH ZRAKOPLOVOV V ODPRTI KATEGORIJI

Luka Zaletelj

Geodetski inštitut Slovenije

lukazaletelj@gis.si, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2682-6103>

dr. Blaž Repe

Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo

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

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610508885_01

UDK: 911:629.014.9(497.4Ljubljana)

91:659.2:004(497.4Ljubljana)

IZVLEČEK

Geoinformacijska podpora odločanju pri opredelitvi omejitev in primernosti za letenje brezpilotnih zrakoplovov v odprti kategoriji

Področje brezpilotnih zrakoplovov se v zadnjem desetletju sooča s hitrim razvojem in sočasnim prilaganjem pravnega vidika letenja. Ključen izziv predstavlja informiranje javnosti, česar so se številne ustanove lotile z izdelavo pogosto pomanjkljivih zemljevidov območij prepovedi letenja. Skušali smo izdelati celovit zemljevid omejitev letenja brezpilotnih zrakoplovov v Republiki Sloveniji za odprto kategorijo (podkategoriji A1 in A3) ter ugotovili, da ob vključitvi številnih, na uradnem zemljevidu spregledanih omejitev, njihova površina presega površino na uradnem zemljevidu. Z izdelavo zemljevida primernosti v Mestni občini Ljubljana smo prepoznali območja z najvišjo stopnjo primernosti za letenje (Sostro), rezultate prikazali na spletnem zemljevidu in izdelali spletno stran KAMzDRONOM.

KLJUČNE BESEDE

aplikativna geografija, brezpilotni zrakoplovi, geografski informacijski sistemi, večkriterijsko odločanje, Mestna občina Ljubljana, Slovenija

ABSTRACT

Geoinformatics support for determining restrictions and suitability for flying unmanned aerial vehicles (UAVs) in the open category

In the past decade, the field of unmanned aerial vehicles has been facing rapid development and simultaneous adaptations of the legal aspect of flying. The key challenge is to effectively inform the public about the regulations, which many institutions have tackled by creating often flawed maps of no-fly zones. We tried to create a comprehensive map of flight restrictions in the Republic of Slovenia for the open category (subcategories A1 and A3) and found that, by including many restricted areas overlooked on the official map, their area exceeds the area on the official map. By creating a suitability map in the Municipality of Ljubljana, we identified areas with the highest degree of suitability for flying (Sostro), displayed the results on an online map and set up the KAMzDRONOM website.

KEY WORDS

applied geography, unmanned aerial vehicles, geographic information systems, multi-criteria decision making, Municipality of Ljubljana, Slovenia

1 Uvod

Brezpilotni zrakoplovi predstavljajo dokaj novo tehnološko inovacijo, ki jo trenutno povezujemo z intenzivnim porastom njihove uporabe. Sočasno in neposredno povezano s tehnološkim razvojem lahko na tem področju opazimo tudi hitro spreminjanje zakonodajnega vidika, ki močno determinira njihovo uporabo.

Pravno urejanje področja brezpilotnih zrakoplovov v Sloveniji ima relativno kratko, a dinamično zgodovino. Popolni odsotnosti regulacije je junija 2016 sledila prva direktiva, ki je prepovedala opravljanje večine dejavnosti z brezpilotnimi zrakoplovi, zaradi česar je bila deležna številnih kritik (Zalaznik 2016). Mesec dni kasneje, julija, je v veljavo stopila celovitejša Uredba o sistemih brezpilotnih zrakoplovov, ki je nato skoraj pet let predstavljala temeljno zakonodajo s tega področja (Uredba o sistemih ... 2016). Z letom 2021 je v veljavo stopila aktualna Uredba o izvajanju izvedbene uredbe Komisije (EU) o pravilih in postopkih za upravljanje brezpilotnih zrakoplovov, ki velja za nacionalno dopolnitev skupne evropske uredbe (Uredba o izvajanju ... 2020). Slednja naj bi že v letu 2023 doživela prvo večjo spremembo, a do nje v času pisanja prispevka še ni prišlo (MZI 2022).

Zadnja uredba iz leta 2021 je prinesla številne novosti, med drugim uveljavitev spletnega zemljevida geografskih območij letenja brezpilotnih zrakoplovov Agencije za civilno letalstvo (CAA) (CAA 2023a). Slednjega lahko izpostavimo kot primer dobre prakse s področja informiranja javnosti o pravilih letenja, a sočasno vsebuje številne pomanjkljivosti. Glavno slabost predstavlja osredotočenost izključno na omejitve (t. i. geografska območja), ki jih predvideva uredba s področja brezpilotnih zrakoplovov – slednja je resda glavni, a ne edini pravni dokument, ki določa omejitve za letenje. Prepoznana diskrepanca med dejanskim in prikazanim stanjem je velik problem in pričakovano tudi vir konfliktov med uporabniki brezpilotnih zrakoplovov ter drugimi deležniki v prostoru. Z našo raziskavo smo želeli kolikor je mogoče odpraviti prepoznane pomanjkljivosti, ponuditi alternativo oziroma dopolnitev uradnega zemljevida ter sočasno oblikovati metodološki pristop za nadaljnje raziskave s področja brezpilotnih zrakoplovov.

2 Potek raziskave in metode dela

Raziskavo smo zasnovali v petih korakih. V prvem smo pozornost posvetili analizi literature s področja brezpilotnih zrakoplovov, ki ga lahko označimo kot tematsko jedro raziskave in večkriterijskega odločanja, ki predstavlja metodološko jedro. S terminom večkriterijsko (eno ali večciljno) odločanje (angleško *multi-criteria decision making*) označujemo metodo prostorskega odločanja, pri kateri, ob podpori geografskih informacijskih sistemov, upoštevamo več kriterijev za dosego enega ali več ciljev (Zabihi s sodelavci 2019). Na primeru naše raziskave gre za različne kriterije, ki vplivajo na izbiro lokacije za letenje brezpilotnih zrakoplovov (na primer zakonodajne omejitve, dejavniki,...). Rezultat uporabljene metode je zemljevid omejitev ob upoštevanju zgolj omejitev ali zemljevid primernosti ob dodatni vpeljavi dejavnikov. Nadalje smo v prvem koraku s pomočjo analize preko 60 pravnih dokumentov in pogovora s približno 50 sogovorniki prepoznali ključna območja za letenje brezpilotnih zrakoplovov v Sloveniji (Zaletelj 2023a).

Na podlagi izsledkov analize literature smo se v drugem koraku osredotočili na pripravo podatkovnih slojev prepoznanih območij omejitev, potencialne prepovedi ter vpliva dejavnikov za letenje brezpilotnih zrakoplovov. Korak je vključeval zbiranje in urejanje obstoječih ter izdelavo manjkajočih podatkovnih slojev, potrebnih za izvedbo večkriterijskega odločanja (preglednica 1).

Tretji korak je bil usmerjen v izdelavo zemljevida omejitev. Natančneje je korak zajemal prekrivanja (Boolean) slojev omejitev, potencialne prepovedi ter vpliva dejavnikov na območju Republike Slovenije za vsako izmed podkategorij letenja posebej (A1 in A3). Izdelavi zemljevidov je sledila analiza rezultatov in njihova medsebojna primerjava (z zemljevidom CAA, med podkategorijama).

V četrtem koraku smo se posvetili izdelavi zemljevida primernosti, začenši z določitvijo ožjega proučevanega območja (Mestna občina Ljubljana). Poleg območij omejitev so nas v tem koraku zanimali tudi dejavniki – kriteriji, ki vplivajo na primernost dovoljenega območja za letenje brezпилotnih zrakoplovov. Posebno pozornost smo posvetili tudi sodelovanju z uporabniki brezпилotnih zrakoplovov. Slednji so na naš poziv pomagali pri oblikovanju nabora relevantnih dejavnikov ter s sodelovanjem v spletni anketi, v kateri je svoje mnenje izrazilo 40 oseb, prispevali k identifikaciji najpomembnejših dejavnikov. Anketirance smo pozvali, da izberejo enega ali več dejavnikov, ki se jim zdi najpomembnejši pri izbiri območja za letenje. Sledila je priprava podatkovnih slojev dejavnikov, njihova standardizacija ter obtežitev na osnovi izsledkov ankete z uporabo metode analitičnega hierarhičnega postopka (angleško *analytical hierarchy process*, AHP). Omenjena metoda temelji na medsebojni primerjavi dejavnikov na lestvici od 1 (enakovreden pomen dejavnikov) do 9 (izredno večji pomen enega izmed dejavnikov) ter izračunu uteži relativnega pomena posameznega dejavnika (Saaty 1980; Zabihi s sodelavci 2019). Naposled je sledilo prekrivanje obteženih slojev dejavnikov za končni prikaz v obliki zemljevida primernosti ter analiza rezultatov. Pri izdelavi zemljevidov omejitev in primernosti smo si pomagali s kartografskimi podlagami Geodetske uprave Republike Slovenije (ortofoto, Državna pregledna karta 1 : 1.000.000, Evidenca državne meje, Register prostorskih enot).

V zadnjem koraku smo vzpostavili spletno stran ter rezultate prikazali na spletnih zemljevidih (ArcGIS Online).

3 Rezultati

3.1. Vrste omejitev letenja brezпилotnih zrakoplovov

Najpomembnejši, a ne edini vir pri določanju območij omejitev predstavlja uredba s področja brezпилotnih zrakoplovov. Letenje brezпилotnih zrakoplovov je predvideno v skupno treh kategorijah, ki se med seboj razlikujejo po predvideni stopnji tveganja. Najmanjša stopnja tveganja je v odprti kategoriji, kjer poteka velika večina letalskih operacij. Slednja se nadalje deli na tri podkategorije – A1, A2 in A3, ki se prav tako razlikujejo po stopnji tveganja. Letenje brezпилotnih zrakoplovov je v vseh podkategorijah (praviloma) prepovedano na stanovanjskih, poslovnih in rekreacijskih območjih, pri čemer je v podkategoriji A3 predviden še dodaten pas omejitve v oddaljenosti 150 metrov od teh območij (Uredba o izvajanju ... 2020; CAA 2023b; CAA 2023c).

Poleg razlikovanja območij omejitev in vpliva dejavnikov smo členitev razširili z uvedbo potencialno prepovedanih območij. Gre za območja, kjer je letenje praviloma dovoljeno, a obstajajo izjeme, ki jih lahko spremenijo v območja omejitev. Kot primer lahko izpostavimo območja obveznega spremljanja sporočil NOTAM (angleško *Notice to Airmen*) na jugozahodu Slovenije, kjer je letenje prepovedano zgolj ob morebitni vzpostavitvi začasnih zapor zračnega prostora. Prepoznali smo skupaj 13 kategorij območij omejitev (slika 1), sedem kategorij območij potencialne prepovedi in eno območje vpliva dejavnikov (t. i. kontrolirane cone, angleško *control zone*, CTR), ki so zapisane v preglednici 1.

3.2. Zemljevid omejitev letenja

Pripravi potrebnih podatkovnih slojev je sledila izdelava zemljevida omejitev na območju celotne države. Slednji predstavlja celovitejšo alternativo uradnemu zemljevidu geografskih območij, ki uporabnikom ponuja vizualizacijo pravnega vidika letenja brezпилotnih zrakoplovov.

Osnovne ugotovitve o razporeditvi območij razkriva že pogled na zemljevid na državni ravni, ki ga prikazuje slika 2, podrobnejšo analizo pa omogočajo izračunane površine območij, zapisane v preglednici 2. Območja omejitev so dokaj razpršena po državnem ozemlju, pri čemer moramo kot površinsko največja izpostaviti nekatera zavarovana območja narave, območja večjih letališč ter stanovanjskih,

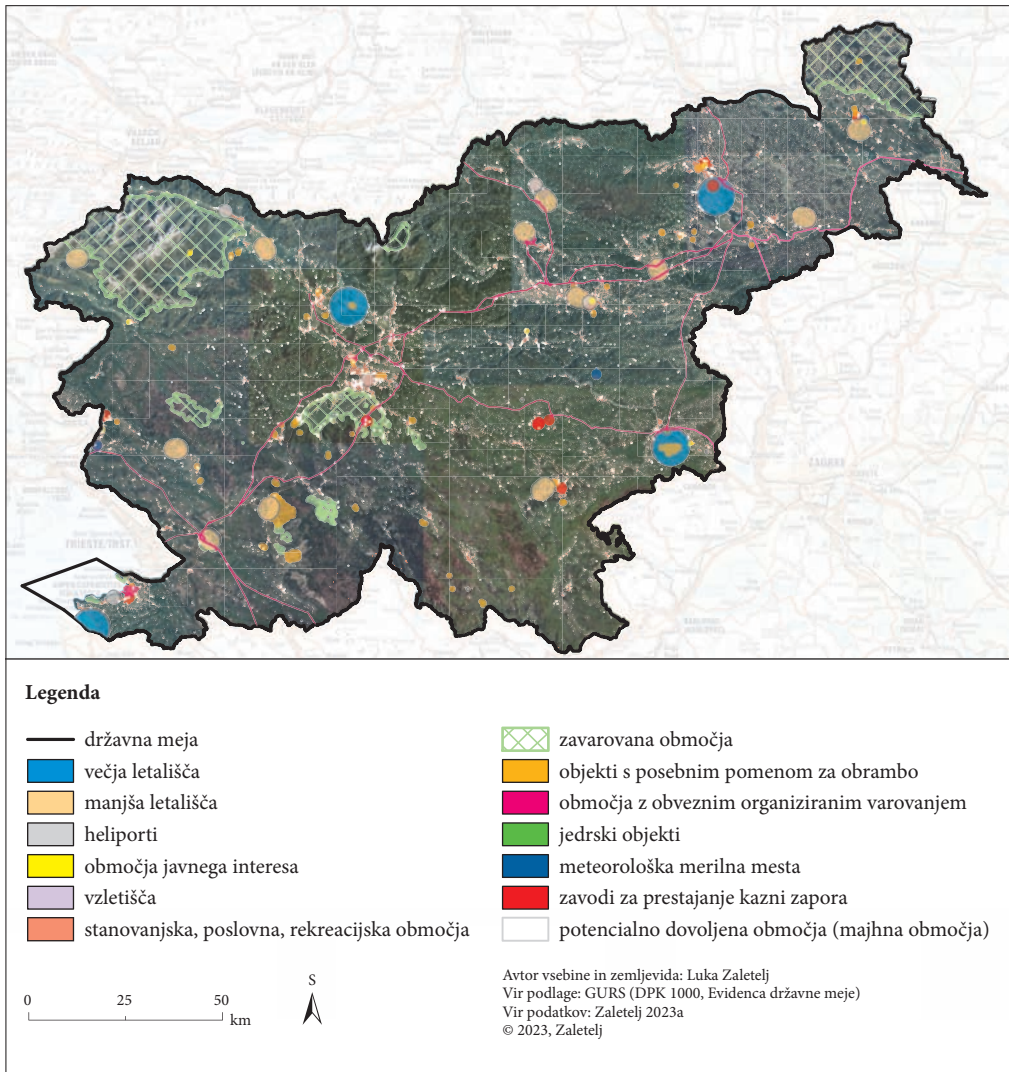
Preglednica 1: Vrste območij, vključene v tri glavne kategorije.

OMEJITVE	POTENCIALNA PREPOVED	DEJAVNIKI
večja letališča	območja nizke gradnje	območja kontrolirane cone (CTR)
manjša letališča	območja obveznega spremljanja NOTAM	
heliporti	območja potencialne prepovedi podjetja DJI	
območja javnega interesa	območja potencialne prepovedi avtocest	
vzletišča	Izobraževalni center za zaščito in reševanje Ig	
stanovanjska, poslovna, rekreacijska območja	zavarovana območja s potencialno prepovedjo	
zavarovana območja s prepovedjo	naravne vrednote s potencialno prepovedjo	
objekti in okoliši s posebnim pomenom za obrambo države		
območja z obveznim organiziranim varovanjem		
jedrski objekti		
meteorološki radarji, območja meritev atmosfere		
zavodi za prestajanje kazni zapora		
potencialno dovoljena območja majhnih lukenj med omejitvami		

poslovnih in rekreacijskih območij, katerih obseg je v podkategoriji A1 pričakovano najbolj viden na območju večjih mest.

Ugotovili smo, da je v podkategoriji A1 letenje brezpilotnih zrakoplovov praviloma prepovedano na 3008,6 km², kar predstavlja 14,69 % državnega ozemlja. Ob nadaljnjem upoštevanju potencialno prepovedanih območij in območij vpliva dejavnikov lahko sklenemo, da je letenje brez posebnih zadržkov zgolj z upoštevanjem osnovnih pravil podkategorije mogoče na manj kot dveh tretjinah, natančneje na 12.251,1 km² oziroma 59,81 % državnega ozemlja. Pričakovano je na račun že omenjenega dodatnega pasu omejitve okoli stanovanjskih, poslovnih in rekreacijskih območij v bolj restriktivni podkategoriji A3 površina prepovedanih območij izrazito večja. Slednja obsega kar 9143,7 km² oziroma 44,6 % državnega ozemlja, približno trikrat več kot v A1. Posledično je izrazito manjša tudi površina območij, kjer lahko letimo brez posebnih zadržkov, ki je v tem primeru zgolj 7846,2 km² oziroma 38,3 % državnega ozemlja.

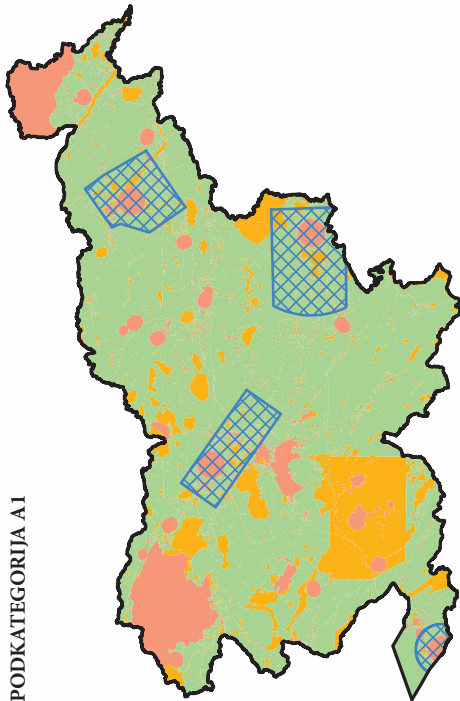
Izdelana zemljevida omejitvev smo primerjali tudi z uradnim zemljevidom (CAA) in ugotovili, da so razlike očitne. Izpostavili bi, da na uradnem zemljevidu ni omejitve letenja v podkategoriji A3, ki so bile v nalogi izdelanem zemljevidu vključene. Pomembno razliko predstavlja tudi vključenost dodatnih območij omejitvev (slika 2), kot so zavarovana območja narave (na primer Krajski park Goričko), območja zavodov za prestajanje kazni zapora (na primer ZPKZ Ig), objektov s posebnim pomenom za obrambo države (na primer vojašnica Edvarda Peperka) ter meteoroloških merilnih mest (na primer radar na Pasji Ravni). Pomembno razliko predstavlja tudi naš izdelan sloj stanovanjskih, poslovnih in rekreacijskih območij, ki predstavlja alternativo sloju pozidanih in sorodnih zemljišč na uradnem zemljevidu. Omenjen izdelan sloj je bolj prilagojen vsebini uredbe, a zaradi pomanjkljivosti (preozko zajeta območja omejitvev v urbanih središčih) v celoti ne nadomešča sloja na uradnem zemljevidu.



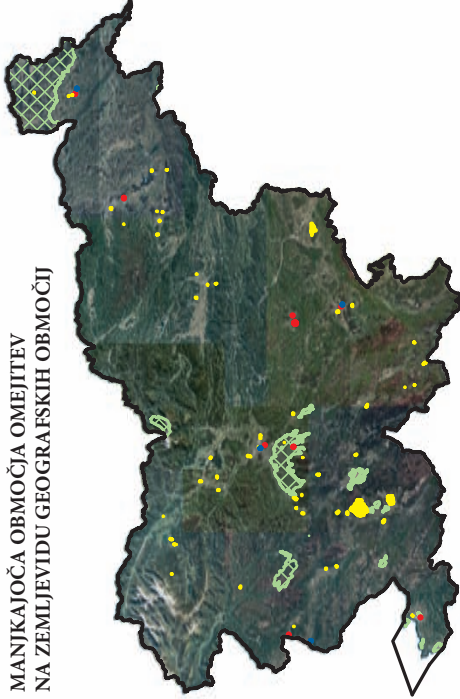
Slika 1: Območja omejitev letenja brezpilotnih zrakoplovov v Republiki Sloveniji.

Slika 2: Izdelan zemljevid omejitev za letenje brezpilotnih zrakoplovov v Republiki Sloveniji ter manjkajoča območja omejitev. ► (str. 14)

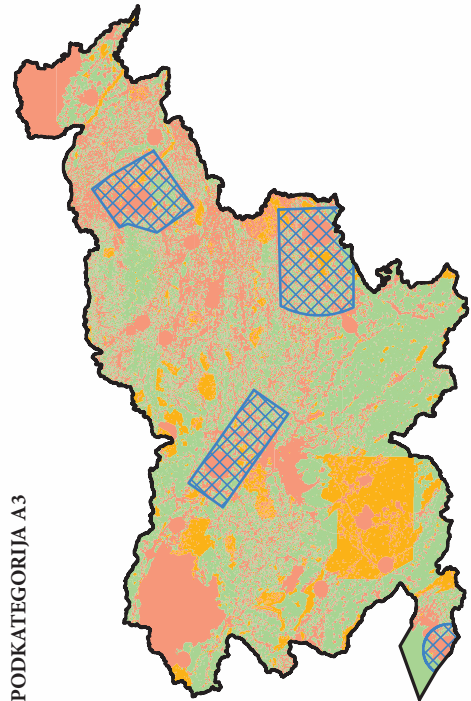
PODKATEGORIJA A1



MANJKAJOČA OBMOČJA OMEJITEV
NA ZEMLJEVIDU GEOGRAFSKIH OBMOČIJ

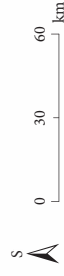


PODKATEGORIJA A3



Legenda zemljevida manjkajočih območij na zemljevidu geografskih območij

- državna meja
- ▨ zavarovana območja
- ▨ objekti s posebnim pomenom za obrambo
- ▨ meteorološka merilna mesta
- ▨ zavodi za prestajanje kazni zapora



Legenda zemljevidov omejitev (podkategoriji A1 in A3)

- državna meja
- ▨ preovedana območja (omejitve)
- ▨ potencialno preovedana območja
- ▨ dovoljena območja
- ▨ območja vpliva dejavnikov (CTR)

Avtor vsebine in zemljevida: Luka Zaletelj
Vir podlage: GURS (DOE5, Evidenca državne meje)
Vir podatkov: Zaletelj 2023a
©2023, Zaletelj

Preglednica 2: Površine območij letenja na uradnem zemljevidu CAA in izdelanem zemljevidu.

PODKATEGORIJA A1	zemljevid CAA (km ²)	izdelan zemljevid (km ²)
prepovedana območja (omejitve)	2602,9	3008,6
dovoljena območja	17.882,0	17.476,3
območja letenja brez posebnih zadržkov	15.054,9	12.251,1
PODKATEGORIJA A3	zemljevid CAA (km ²)	izdelan zemljevid (km ²)
prepovedana območja (omejitve)	13.051,2	9143,7
dovoljena območja	7433,6	11.341,2
območja letenja brez posebnih zadržkov	6305,7	7846,2

Razlike med zemljevidoma so postale še bolj očitne ob izračunu površin (preglednica 2). Na primeru podkategorije A1 je bila površina prepovedanih območij na izdelanem zemljevidu, na račun dodanih območij omejitev, večja od površine na uradnem zemljevidu. Njihova površina na izdelanem zemljevidu je bila 3008,6 km² oziroma 405,7 km² več od površine na uradnem zemljevidu. Nasprotno je bila površina prepovedanih območij na izdelanem zemljevidu v podkategoriji A3 z 9143,7 km² za 3907,5 km² manjša od površine na uradnem zemljevidu. To lahko pripišemo različni razsežnosti slojev stanovanjskih, poslovnih in rekreacijskih območij, okoli katerih je v podkategoriji A3 predviden še dodaten pas omejitve. Pri izdelavi našega zemljevida smo namreč uporabili izdelan sloj stanovanjskih, poslovnih in rekreacijskih območij, ki je v primerjavi s slojem na uradnem zemljevidu manj obsežen (CAA 2023a, Zaletelj 2023a).

3.3. Zemljevid primernosti letenja

Nadalje smo pozornost preusmerili na ožje proučevano območje (Mestna občina Ljubljana), kjer smo dosedanje delo nadgradili z izdelavo zemljevida primernosti za letenje brezpilotnih zrakoplovov. Zemljevid omejitev odgovarja na vprašanje »Kje smem leteti?«, a ne pove, katera območja so za letenje najbolj primerna. Dovoljena območja se namreč, kljub pravni enakovrednosti, med seboj pomembno razlikujejo po primernosti.

V naši raziskavi smo upoštevali osem dejavnikov, zapisanih v preglednici 3, ki so jim anketiranci dodelili glasove. Kot najpomembnejši se je izkazal dejavnik povezan s stanovanjskimi, poslovnimi in

Preglednica 3: Uporabljeni dejavniki za izdelavo zemljevida primernosti in rezultati ankete.

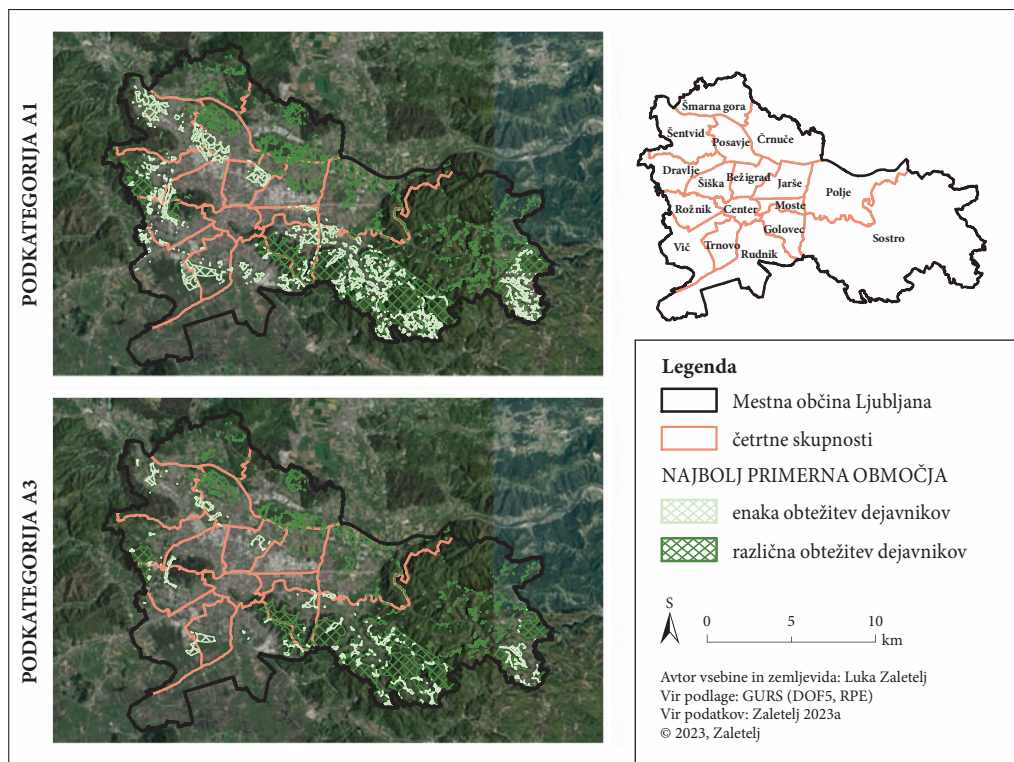
uporabljeni dejavniki	število dodeljenih glasov
oddaljenost od stanovanjskih, poslovnih, rekreacijskih območij	32
oddaljenost od objektov s posebnim pomenom za obrambo države	22
oddaljenost od daljnovodov	18
območja zavarovane narave (zavarovana območja, naravne vrednote)	10
območja znižane meje maksimalne višine letenja	7
oddaljenost od zaporov	4
območje gozda (strnjena visoka vegetacija)	1
oddaljenost od meteoroloških merilnih mest	1

rekreacijskimi območji, v oddaljenosti od katerega, zaradi vse manjših varnostnih tveganj, postopno (linearno) narašča primernost območja za letenje. V sklopu našega dela smo obtežitev dejavnikov izvedli v dveh različicah. V prvi smo predpostavljali, da so si dejavniki med seboj enakovredni, nasprotno pa smo v drugi upoštevali različno moč vpliva dejavnikov, ki jih je razkrila anketa.

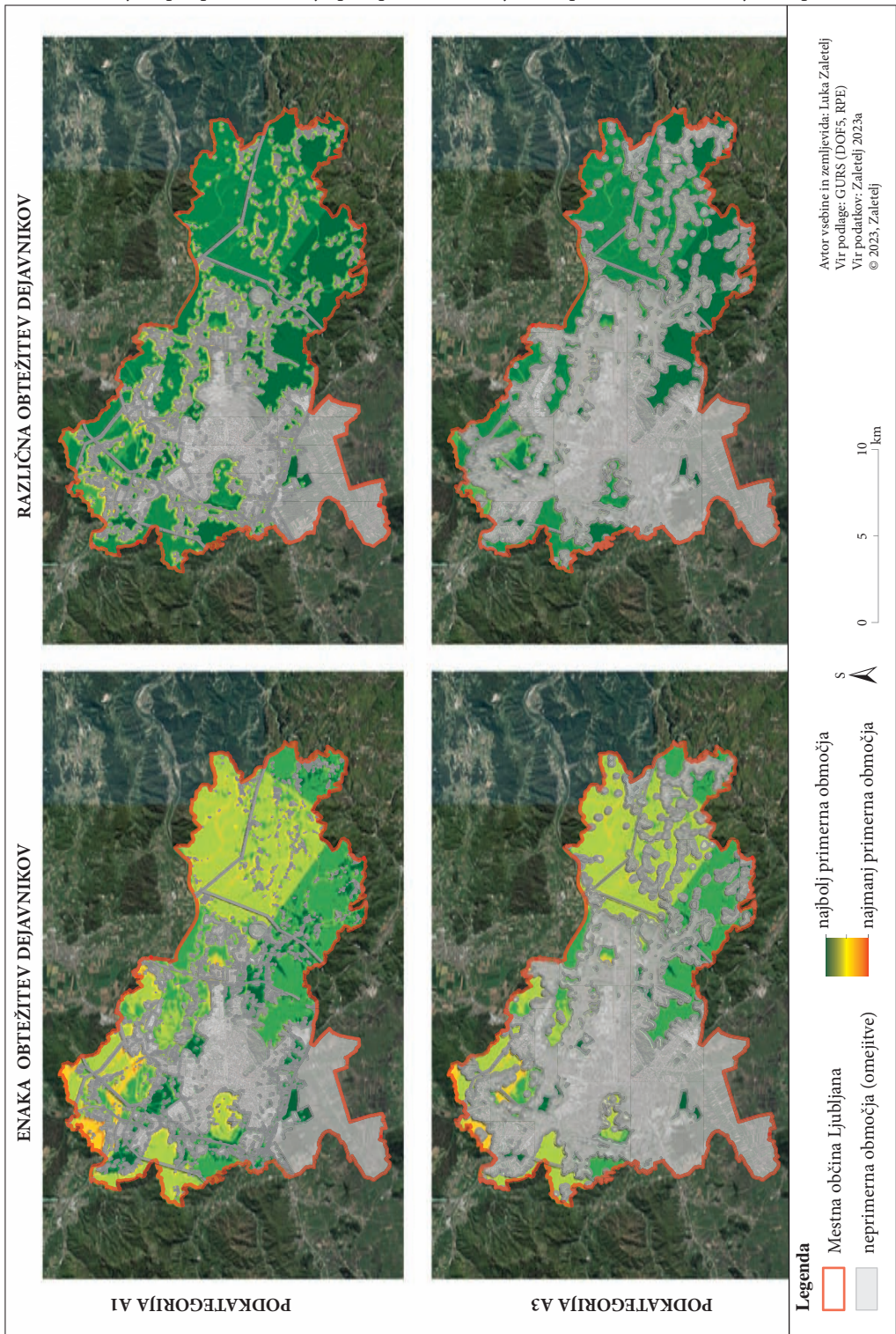
Pripravi podatkov je sledila izdelava skupno štirih zemljevidov primernosti (slika 3). Pozornost smo sprva posvetili podkategoriji A1. Na primeru enake obtežitve je očiten vpliv treh, prostorsko najboljše-nejših območij dejavnikov – gozdnih območij, zavarovanih območij narave ter območja znižane maksimalne višine letenja (CTR Ljubljana), na območjih prekrivanja katerih se nahajajo najmanj primerna območja za letenje brezpilotnih zrakoplovov. Povsem drugačno stanje prikazuje zemljevid primernosti, kjer smo upoštevali, da vpliv dejavnikov ni enakovreden. Pri tej različici obtežitve moramo kot glavnega izpostaviti dejavnik oddaljenosti od stanovanjskih, poslovnih in rekreacijskih območij, vpliv katerega je najbolj izrazit na robovih pozidave ter z oddaljevanjem linearno slabi. Pomembno je omeniti tudi, da zaradi delno subjektivne narave metode izbire in obtežitve dejavnikov težko govorimo o večji primernosti prve ali druge različice obtežitve. Poleg razlik med različicama obtežitve je moč opaziti tudi razlike med posameznima podkategorijama. Ob upoštevanju dodatnih omejitev pri podkategoriji A3 je glavna razlika v primerjavi s podkategorijo A1 pričakovan izrazit porast površine neprimernih območij (oziroma območij omejitev).

Bolj kot območja z nizko in srednjo stopnjo primernosti so nas zanimala najbolj primerna območja za letenje brezpilotnih zrakoplovov (slika 4). S tem namenom smo iz sloja dovoljenih območij za

Slika 3: Zemljevid primernosti za letenje brezpilotnih zrakoplovov v Mestni občini Ljubljana. ► (str. 17)



Slika 4: Najbolj primerna območja za letenje brezpilotnih zrakoplovov v Mestni občini Ljubljana.



vsako podkategorijo in različico obtežitve izbrali območja z najvišjo stopnjo primernosti (zgornjih 10 % vseh vrednosti na lestvici od 0 do 1). Na primeru podkategorije A1 smo pri različici z enako obtežitvijo dejavnikov kot najbolj primerna prepoznali kmetijska zemljišča izven območja znižane maksimalne višine letenja (CTR Ljubljana), ki poteka v severovzhodnem delu občine, ter ugotovili, da je njihova skupna površina 12,2 km² oziroma 4,45 % površine občine. Do pomembnih razlik pričakovano pride na račun različne obtežitve dejavnikov, kjer zmanjšan vpliv prostorsko najbolj obsežnih dejavnikov povzroči izrazit porast površine najbolj primernih območij na 46,7 km² oziroma 16,99 % občine. Posledično se najbolj primernim območjem iz prve različice pridružijo tudi kmetijska zemljišča znotraj območja CTR Ljubljana ter obsežna gozdna območja. Sama razporeditev najbolj primernih območij za letenje v podkategoriji A3 je zelo podobna kot v podkategoriji A1, vendar je teh izrazito manj. Na primeru enake obtežitve dejavnikov je njihova površina v bolj restriktivni podkategoriji A3 zgolj 3,9 km² oziroma 1,41 %, pri različni obtežitvi pa 32,9 km² oziroma 11,96 % površine občine. Naposled smo razporeditev najbolj primernih območij analizirali v odnosu na četrtne skupnosti občine in ugotovili, da je največji delež območij pri obeh podkategorijah in različicah obtežitve v četrtni skupnosti Sostro, velik delež pa zasledimo tudi v četrtnih skupnostih Šentvid (enaka obtežitev dejavnikov), Polje in Golovec (različna obtežitev dejavnikov) (Zaletelj 2023a).

3.4. Spletni zemljevid in KAMzDRONOM

Ključen izziv pri našem delu smo prepoznali v zagotavljanju dostopnosti rezultatov in potencialnih posodobitev stanja. S tem namenom smo na spletnem portalu ArcGIS Online izdelali štiri spletne zemljevide – dva zemljevida omejitev in dva primernosti. Spletni zemljevidi so zasnovani tako, da uporabnik prvi podatek o ustreznosti območja za letenje razbere iz preprostejšega zemljevida omejitev (s štirimi glavnimi kategorijami, slika 2) ter ob morebitnem dodatnem zanimanju ali dilemah svojo odločitev dopolni z ogledom podrobnejšega zemljevida (ločenih slojev), ki omogoča podrobnejše poizvedbe. Podobno to velja tudi za zemljevid primernosti, kjer so vključeni tudi sloji uporabljenih dejavnikov in najbolj primernih območij za letenje. Za ohranitev intuitivnosti smo način rokovanja z izdelanimi spletnimi zemljevidi v večji meri prevzeli iz uradnega zemljevida geografskih območij, s katerim je seznanjen velik del uporabnikov brezpilotnih zrakoplovov. Po zemljevidu se lahko premikamo na več načinov (ročno, vpis poljubnega kraja ali zaznavanje trenutne lokacije naprave), poljubno preklapljam med sloji ter s pritiskom na območja zanimanja izvedemo poizvedbo po dodatnih informacijah (na primer ime in zakonodajni vir omejitve, morebitne izjeme,...) (Zaletelj 2023b, Zaletelj 2023c).

Zavedali smo se tudi, da v kolikor uporabnikom ponudimo zgolj štiri povezave do spletnih zemljevidov s tem ne zagotovimo preprostosti uporabe rezultatov in ne nadgradimo uporabniške izkušnje iz uradnega zemljevida. Zato smo vzpostavili spletno stran KAMzDRONOM (slika 5). Na strani uporabniki dostopajo do osnovnih informacij o raziskavi, pomembnih povezav ter tudi do zemljevidov omejitev in primernosti. Preusmeritev na spletne zemljevide poteka preko posebnega razdelka oziroma poljubnega izmed dveh neodvisnih spustnih seznamov, ki uporabniku ob izboru posameznega atributa ponudi povezavi na zemljevid omejitev ali zemljevid primernosti za ustrežno podkategorijo. Spustna seznama uporabnike pozivata k izbiri modela brezpilotnega zrakoplova v prvem oziroma podkategorije, v kateri nameravajo leteti, v drugem spustnem seznamu (KAMzDRONOM 2023).

Slika 5: Spletni zemljevid omejitev in primernosti ter spletna stran KAMzDRONOM. ► (str. 19)

4 Sklep

V zadnjem desetletju smo na področju brezпилotnih zrakoplovov priča izjemni hitrosti razvoja novih tehnologij ter eksponentni rasti njihove uporabe na račun povečevanja cenovne dostopnosti in intuitivnosti. Sočasno je opaziti tudi veliko dinamiko prilagajanja pravnega vidika letenja, ki pristojne ustanove postavlja pred velik izziv povezan z učinkovitim podajanjem informacij širši javnosti. V evropskem prostoru slovenski uradni zemljevid geografskih območij nedvomno predstavlja primer dobre prakse, a kljub vsemu vsebuje določene pomanjkljivosti. V naši raziskavi smo poleg glavne uredbe s področja brezпилotnih zrakoplovov upoštevali še druge omejitve. Ob izdelavi zemljevida omejitve smo ugotovili, da je površina prepovedanih območij v podkategoriji A1 na izdelanem zemljevidu večja od površine na uradnem zemljevidu, v podkategoriji A3 pa je ta manjša. Nadalje smo z izdelavo zemljevida primernosti prepoznali najbolj primerna območja za letenje brezпилotnih zrakoplovov v Mestni občini Ljubljana, katerih največji delež je bil v četrtini skupnosti Sostro, velik delež pa smo zaznali tudi v četrtini skupnostih Šentvid, Trnovo, Golovec in Polje. Rezultate smo širši javnosti ponudili v obliki interaktivnih spletnih zemljevidov ter dodatno izdelali še spletno stran KAMzDRONOM, ki služi kot vstopna točka do rezultatov našega dela.

Možnost nadgradnje naše raziskave vidimo predvsem v osredotočenosti nadaljnjih raziskav na prepoznana pomanjkljiva področja, na primer v izboljšavo sloja stanovanjskih, poslovnih in rekreacijskih območij ter izdelavo zemljevida primernosti na območju celotne države. Tekom raziskave smo potrdili domnevo, da je področje brezпилotnih zrakoplovov polno aplikativnega potenciala, a hkrati tudi zahtevno za raziskovanje. Zaradi potrebnega interdisciplinarnega spektra znanj lahko pomembno vlogo pri raziskovanju in razvoju tega področja prispeva tudi geografska stroka, kar naj služi kot apel zainteresiranim geografom.

5 Viri in literatura

- CAA (Javna agencija za civilno letalstvo Republike Slovenije), 2023a. Spletni zemljevid geografskih območij (verzija februar 2023). Medmrežje: <https://caa-slovenia.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=25ba69037c264c5faa5381174f76f861&fbclid=IwAR1vx5KkuFpJZmLba7aFg-02nuUDEDRgAVnqPn6qJj4T1LYmxUrq8LIDP8Y> (14. 1. 2024)
- CAA (Javna agencija za civilno letalstvo Republike Slovenije), 2023b. Nova skupna EU ureditev. Medmrežje: <https://www.caa.si/nova-skupna-eu-ureditev.html> (13. 1. 2024)
- CAA (Javna agencija za civilno letalstvo Republike Slovenije), 2023c. Odgovori na pogosto zastavljena vprašanja. Medmrežje: <https://www.caa.si/faq.html> (13. 1. 2024)
- KAMzDRONOM, 2023. Medmrežje: <https://kamzdronom.si/> (1. 2. 2024)
- MZI (Ministrstvo za infrastrukturo), 2022. Predlog predpisa – Uredba o izvajanju izvedbene uredbe Komisije (EU) o pravilih in postopkih za upravljanje brezпилotnih zrakoplovov. Medmrežje: <https://e-uprava.gov.si/drzava-in-druzba/e-demokracija/predlogi-predpisov/predlog-predpisa.html?id=14852> (6. 1. 2024)
- Saaty, T. L. 1980: The Analytical Hierarchy Process. New York.
- Uredba o izvajanju izvedbene uredbe Komisije (EU) o pravilih in postopkih za upravljanje brezпилotnih zrakoplovov. Uradni list Republike Slovenije 195/2020. Ljubljana.
- Uredba o sistemih brezпилotnih zrakoplovov. Uradni list Republike Slovenije 52/2016. Ljubljana.
- Zabihi, H., Alizadeh, M., Langat, P. K., Karami, M., Shahabi, H., Ahmad, A., Nor Said, M., Lee, S. 2019: GIS multi-criteria analysis by ordered weighted averaging (OWA): Toward an integrated citrus management strategy. Sustainability 11-4. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11041009>

- Zalaznik, J. 2016: Prepoved letenja z droni: Tujci so leteli, a jim niso napisali globe. Medmrežje: <https://www.zurnal24.si/slovenija/prepoved-letenja-z-droni-tujci-so-leteli-a-jim-niso-napisali-globe-273247> (12. 12. 2023)
- Zaletelj, L. 2023a: Geoinformacijska podpora odločanju pri opredelitvi omejitev in primernosti za letenje brezпилotnih zrakoplovov. Magistrsko delo, Ljubljana: Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Zaletelj, L. 2023b: Spletni zemljevid omejitev za letenje brezпилotnih zrakoplovov (podkategorija A1). Medmrežje: <https://uni-lj.maps.arcgis.com/apps/instant/portfolio/index.html?appid=b82b68f6578f4c3ab739d47cc5de9b14> (1. 2. 2024)
- Zaletelj, L. 2023c: Spletni zemljevid primernosti za letenje brezпилotnih zrakoplovov (podkategorija A1). URL: <https://uni-lj.maps.arcgis.com/apps/instant/portfolio/index.html?appid=c1cf56e6218428c83621783acce4dc8> (1. 2. 2024)

POVEZANOST RAZPOREDITVE JAMSKIH VHODOV IN MIKRORELIEFNIH ZNAČILNOSTI KRAŠKEGA POVRŠJA: PRIMER SLOVENSKEGA DINARSKEGA KRASA

Špela Čonč, dr. Jure Tičar

Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Geografski inštitut Antona Melika
spela.conc@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2110-8542>
jure.ticar@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3567-8084>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610508885_02

UDK: 911.2:551.435.8(497.4)

528.8.044.6(497.4)

IZVLEČEK

Povezanost razporeditve jamskih vhodov in mikroreliefnih značilnosti kraškega površja: primer slovenskega dinarskega krasa

Za kras, ki pokriva 49,7 % površja Slovenije, je značilna velika geodiverzitetna površinskih in podzemnih reliefnih oblik kot so kopaste vzpetine, vrtače, uvale, polja in jame. Zaradi tega je kras znan tudi kot eden najbolj razgibanih geomorfoloških sistemov na našem planetu. Razgibanost, razčlenjenost in kamnitost površja lahko nakazuje na tektonsko delovanje in pretrtost kamninskih skladov, kar predstavlja predpogoje za razvoj jam. Jame v krasu najpogosteje nastajajo ob tektonskih prelomnih conah, kjer razmaknitve skladov ustvarjajo nezveznosti v kamninah. Pri določanju morfoloških značilnosti površja si lahko pomagamo s številnimi (pol-)avtomatskimi metodami za izračun značilnosti površja ali prepoznavanje reliefnih oblik. Glavna cilja te študije sta, da na podlagi visoko resolucijskega (1 m × 1 m) LiDAR digitalnega modela višin določimo mikroreliefne značilnosti neposredne okolice jamskih vhodov (v nadaljevanju jam) ter, da na podlagi pristopa ekološkega modeliranja (»use-availability approach«) in statistične analize ugotovimo katere mikroreliefne značilnosti so pomembno povezane z njihovim pojavljanjem. Rezultati kažejo na to, da se jame pogosteje pojavljajo v bližini izdankov kamnin in vrtač, na bolj kamnitih območjih in na območjih z nižjimi vrednostmi topografskega pozicijskega indeksa (TPI), kot je to značilno za preučevano območje. Kažejo pa se razlike med pojavljanjem v različnih litoloških enotah.

KLJUČNE BESEDE

GIS, LiDAR, geomorfologija, jame, ekološko modeliranje, prostorska analiza, Dinarsko gorovje

ABSTRACT

The relationship of the distribution of cave entrances and the micro-relief characteristics of the karst surface: the example of the Slovenian Dinaric karst

Karst, covering 49.7% of Slovenian surface, is characterised by high geodiversity of surface and sub-surface landforms, such as conical hills, dolines, uvalas, poljes, and caves. Due to this karst is also known as one of the most rugged geomorphological systems on the planet. Surface ruggedness, fragmentation and rockiness may indicate tectonic activity and bedrock fractures, which are the preconditions for the cave development. Caves in karst are most often formed along joints of tectonic origin causing discontinuities in rocks. Many (semi-)automatic methods for calculating surface characteristics or identifying landforms can be used to determine the morphological characteristics of the surface. The main objectives of this study were to use a high-resolution (1m × 1m) LiDAR digital elevation model to determine the micro-relief characteristics of the vicinity of the cave entrances (hereafter caves), and to identify which micro-relief characteristics are significantly related to their occurrence based on an ecological modeling

approach (use-available) and statistical analysis. The results show that caves are more likely to occur near rocky outcrops and dolines, in rockier areas and in areas with lower Topographic Position Index (TPI) values than is typical for study areas. However, we observed differences between the occurrences in different lithological units.

KEY WORDS

GIS, LiDAR, geomorphology, caves, ecological modeling, spatial analysis, Dinaric mountains

1 Uvod

Kras je tip površja, ki ga opredeljujeta kamnitost in pestrost površinskih ter podzemeljskih reliefnih oblik. Območje lahko opredelimo kot kraško oziroma zakraselo, kadar prevladuje odnašanje snovi v raztopini, navpičen odtok padavinskih voda, akumulacija raztopljenega materiala pa je zanemarljiva (Ford in Williams 2007; Veress 2020). V Sloveniji kras pokriva 49,7 % celotnega ozemlja, od tega je približno 50 % krasa razvitega v apnencih in 25 % krasa v dolomitih, ki sta prostorsko najbolj razširjena na območju makroregije Dinarsko gorovje (Gostinčar in Stepišnik 2023). Kot posledica različne litologije in dinamike mehanskega preperevanja kamnin, ki gradijo slovenski Dinarski kras (npr. apnec, dolomit), kraško površje poleg vrtač, udornic, kraških polj in drugih tipičnih kraških reliefnih oblik razčlenjujejo tudi številne manjše reliefne oblike. Na območjih golega in polgolega krasa na kamninah nastajajo oblike v velikosti od nekaj milimetrov do več deset metrov (Gams 2004; Stepišnik 2020). Na (pol)golem krasu so poleg škvavic, kotličev, škrapelj in ostalih mikroreliefnih oblik pogoste tudi škraplje in škrapljišča, skalni bloki ter skalni samotarji (Gams 2004; Stepišnik 2020). Golo kamnino in druge skalne oblike, ki so razkrite na površju, lahko imenujemo tudi izdanki kamnin. Nastanejo z erozijo okoliškega materiala oz. preperine, ki je mehansko manj odporna (Twidale 2020). Za izdanke kamnin, ki nastajajo v različnih tipih kamnin in so pestrih oblik ter velikosti, je značilen predvsem velik naklon, prostorska izoliranost, v številnih primerih pa predstavljajo nedotaknjene naravne habitate (Fitzsimons in Michael 2017; Čonč s sodelavci 2024). Zaradi številčnosti in gostote najrazličnejših mikro- in mezoreliefnih kraških oblik, ki razčlenjujejo površje, lahko kras opredelimo tudi kot enega najbolj kamnitih in razgibanih geomorfoloških sistemov na našem planetu (Day in Chenoweth 2013).

Za preučevanje morfografskih in morfometričnih značilnosti reliefnih oblik ter za potrebe interpretacije morfogeneze območij, so prostorski podatki o posameznih reliefnih oblikah ključnega pomena. Posledično se na področju daljinskega zaznavanja razvijajo številne metode, ki omogočajo časovno, stroškovno in finančno učinkovito identifikacijo ter kartiranje reliefnih oblik (Čonč s sodelavci 2022). Natančno lasersko skeniranje površja omogoča preučevanje reliefa tudi pod vegetacijo, kar je še posebej uporabno pri analizi večjih, oddaljenih, z vegetacijo poraslih in težko dostopnih območjih, kot je Dinarsko gorovje (Triglav Čekada 2011; Čonč s sodelavci 2022). Pri preučevanju reliefnih značilnosti si lahko pomagamo s številnimi metodami za vizualizacijo digitalnih modelov višin (npr. senčenje, vizualizacija na podlagi Sky-view faktorja ali Red relief image) ali z izračuni različnih kazalnikov kot so na primer naklon, razgibanost površja in topografski pozicijski indeks (Weiss 2001; Sappington, Longshore in Thompson 2007; Chiba, Kaneta in Suzuki 2008; Zakšek, Oštir in Kokalj 2011; Hrvatini in Perko 2012). Medtem ko je večje okroglaste reliefne oblike, kot so vrtače in kopasti vrhovi, mogoče zaznati z obstoječimi metodami daljinskega zaznavanja (npr. Bauer 2015; Mihevc in Mihevc 2021; Stefanovski in Repe 2021; Telbisz 2021; Čonč s sodelavci 2022; Stefanovski s sodelavci 2024), predstavlja prepoznavanje manjših reliefnih oblik, predvsem zaradi raznolikosti oblik in velikosti, izziv za avtomatizirano zaznavanje. Čonč s sodelavci (2024) je razvila pristop zaznavanja izdankov kamnin, ki temelji na podlagi identifikacije konveksnih oblik (grebenov) in naklona, ter ga uporabila pri preučevanju ekološke evrazijskega risa na dveh reliefno različnih območjih.

Namen tega prispevka je ugotoviti ali obstaja povezava med mikroreliefnimi značilnostmi površja in pojavljanjem jamskih vhodov (v nadaljevanju jam). Glavna cilja tega prispevka sta: 1) na podlagi visoko resolucijskega (1 m × 1 m) LiDAR digitalnega modela višin (DMV) in obstoječih slojev določiti mikroreliefne značilnosti neposredne okolice jam, ter 2) na podlagi pristopa ekološkega modeliranja (*»use-availability approach«*; Johnson 1980) in statistične analize ugotoviti katere mikroreliefne značilnosti so pomembno povezane z njihovim pojavljanjem. Uporaba metod za ekološko modeliranje (npr. *MaxEnt*) se je že izkazala kot uspešna pri razumevanju prostorskih vzorcev naravnih virov in napovedovanju prostorske razširjenosti naravnih pojavov (Valavi s sodelavci 2022; Blitch s sodelavci 2023).

2 Preučevano območje

Glede na geološko raznolikost kraških območij v Sloveniji, je posledično razvitih več tipov krasa, kar se odraža tudi v veliki raznolikosti površinskih ter podzemnih kraških oblik (Gams 2004; Zupan Hajna 2004; Zorn s sodelavci 2020). Že na manjših območjih, kjer se pojavljajo različne kamnine se pojavnost in gostota reliefnih oblik pomembno razlikuje (npr. Hrvatini 2016; Čonč s sodelavci 2022; 2024).

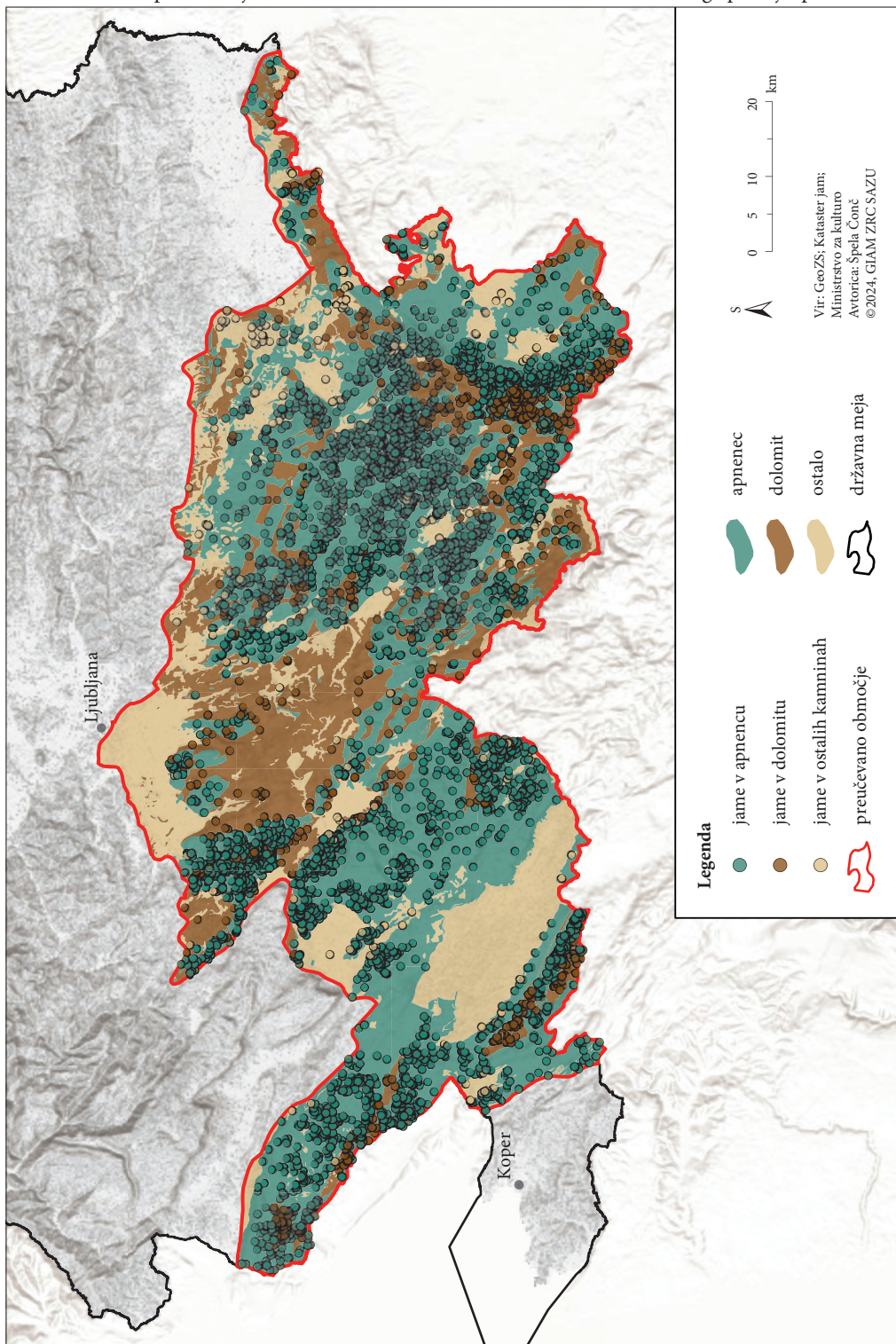
Kot območje preučevanja smo izbrali slovenski Dinarski kras, z izjemo Trnovskega Gozda, Nanoške in Hrušiške planote (slika 1). Širše gledano območje pripada Dinarskemu gorstvu, oziroma delu gorstva, ki ga z geološkega vidika imenujemo tudi Zunanji Dinaridi oziroma Dinarski kras, saj na njem prevladuje kraški tip reliefa (Mihevc, Prelovšek in Zupan Hajna 2010; Zorn s sodelavci 2020). Za Dinarski kras je značilna globoka vadozna cona, kamnitost in razčlenjenost površja. Osrednji del slovenskega Dinarskega krasa gradijo predvsem mezozojske in kvartarne kamnine, med katerimi prevladujeta apnenec in dolomit. Za to območje so značilne predvsem visoke kraške planote, razčlenjene s številnimi podolji, kraškimi polji in ravniki, ki potekajo v značilni dinarski smeri (od severozahoda proti jugovzhodu). Proti jadranski obali se nadmorska višina znižuje, med območji apnenca pa se pojavljajo pasovi eocenskega fliša (Mihevc, Prelovšek in Zupan Hajna 2010; Zorn s sodelavci 2020). Najbolj značilne reliefne oblike globokega krasa so kraške kotanje različnih dimenzij (npr. vrtače, udornice, brezstropne jame), območje pa je preprejeno tudi s številnimi jamami.

Razgibanost, razčlenjenost in kamnitost površja lahko z geomorfološkega vidika nakazuje na tektonsko delovanje in pretrtost kamninskih skladov, kar predstavlja pogoje za razvoj jam. Jame v krasu najpogosteje nastajajo ob tektonskih prelomnih conah, kjer razmaknitve skladov ustvarjajo nezveznosti v kamninah (pore, lezike, razpoke, kanali in prelomi), po katerih se padavinska voda pretaka v podzemlje in s korozijo nezveznosti tudi širi (Gams 2004; Ford in Williams 2007; Čar 2018; Stepišnik 2020).

Razvojno so jame opredeljene kot naravne votline v kamnini, ki jih je oblikovala voda z raztapljanjem. Jame so vse votline, ki so širše od 5 do 15 mm, kar je najmanjša širina za vzpostavitev turbulentnega toka skozi vodonosnik, ki pospeši raztapljanje (Ford in Williams 2007). Z antropocentričnega vidika so jame naravne votline v kamnini, ki so prehodne za človeka (Gams 2004; Ford in Williams 2007; Palmer 2007). Podobno opredelitev imata tudi Jamarska zveza Slovenije (2014) ter Zakon o varstvu podzemnih jam (2004): »Podzemna jama po tem zakonu (v nadaljnjem besedilu: jama) je na naravni način nastali prostor v kamnini, ki je v zunanji prostor zaključen z navpično projekcijo roba pokritega dela jame, ali brezno z vhodno depresijo od tam, kjer naklon pobočja preseže 30 stopinj in katerega prehodni del je daljši ali globlji od 10 m, ne glede na to, ali je vhod oziroma izhod (v nadaljnjem besedilu: vhod) naraven ali je plod človekovega dela. Jame so votline, razpoke, brezna in podzemni rovi in so lahko suhe ali stalno ali občasno, deloma ali v celoti zalite z vodo. Ne glede na določbo prejšnjega odstavka se lahko zaradi morfoloških, hidroloških, favnističnih ali drugih posebnosti določi za jamo tudi prostor iz prejšnjega odstavka, ki je krajši od 10 m«.

Po podatkih Katastra jam (2024) je bilo v Sloveniji do sredine leta 2022 (4. 7. 2022) registriranih 14.853 kraških jam. Skupna dolžina vseh je 1.126.295 m oziroma povprečno 75,8 m na jamo, skupna globina pa 353.039 m oziroma 23,7 m na jamo. Med petimi najdaljšimi jamami so Sistem Mígovec (kat. št. 6001) z dolžino 43,0 km, Postojnska jama (kat. št. 747) z dolžino 24,1 km, Kačna jama (kat. št. 955) z dolžino 20,2 km, Črnelško brezno (kat. št. 6040) z dolžino 20,1 km in Predjamski sistem (kat. št. 734) z dolžino 17,8 km. Med petimi najglobljimi brezni so Čehi 2 (kat. št. 6200) z globino –1505 m, Črnelško brezno (kat. št. 6040) z globino –1393 m, Renejevo brezno (kat. št. 7090) z globino –1322 m, Sistem Mala Boka – BC4 (kat. št. 3200) z globino –1319 m in Vandima (kat. št. 6452) z globino –1182 m.

Slika 1: Zemljevid preučevanega območja s prostorsko razporeditvijo jam, ki smo jih upoštevali v analizi, glede na poenostavljeno litološko zgradbo. ► (str. 27)



3 Metode in podatki

Za analizo mikroreliefnih značilnosti neposredne okolice jam smo uporabili različne spremenljivke, ki temeljijo na izračunih ali obdelavi že obstoječih podatkov. Podatke o jamah smo pridobili iz zbirke podatkov Katastra jam (2024). Do leta 2003 so bile lokacije jamskih vhodov beležene le na podlagi zemljevidov s slabšimi merili, posledično pa so bile lege številnih jam netočne. V zadnjih dveh desetletjih so zaradi uveljavljanja novih tehnologij opazne izboljšave v natančnosti leg jam (Čekada in Gostinčar 2016; Tičar in Čekada 2018), zato smo v analizi uporabili le tiste jame, katerih lega je bila prostorsko potrjena na podlagi GPS, GPS-RTK, LiDAR-ja ali teodolitske metode (Kataster jam 2024). Na podlagi posplošene litološke zgradbe smo jame razdelili v tri razrede: jame v apnencu, jame v dolomitu in jame v ostalih kamninah. Med jamami, ki smo jih opredelili kot jame v ostalih kamninah, prevladujejo predvsem ponorne in izvirne jame na območju kontaktnega krasa (slika 1). V tem razredu se nahajajo predvsem zaradi nenatančnosti geološke karte, saj so dejanski jamski vhodi oblikovani v apnencu ali dolomitu, na geološki karti pa so to območja označena kot območja aluvialnih nanosov ali flišnih sedimentov. Nekateri jamski vhodi pa so oblikovani tudi v karbonatnem grušču, glinah, peskih in laporjih.

V študiji smo uporabili pet izbranih spremenljivk (preglednica 1), ki se na mikro nivoju nanašajo na izoblikovanost površja in oddaljenost jam od izbranih reliefnih oblik: razdalja do izdankov kamnin, kamnitost površja, razdalja do (roba) vrtač, topografski pozicijski indeks (TPI) in razgibanost površja (*Vector Ruggedness Measure*; VRM). Evklidske razdalje od jam do izdankov kamnin in vrtač so bile izračunane z orodjem *Near*. Za izračun razdalje do izdankov kamnin in kamnitosti površja v neposredni okolici jam (radij 10 m; orodje *Zonal statistics as table*) smo uporabili sloj, ki so ga izdelali Čonč s sodelavci (2024). Za izračun razdalje do vrtač smo uporabili sloj, ki ga je izdelal Stefanovski s sodelavci (2024). TPI (Weiss 2001) smo izračunali tako, da smo vhodni digitalni model višin (DMV) povprečili z orodjem *Focal Statistics* (parametri: *Neighborhood = Circle*, *Radius = 10 m*, *Statistic type = Mean*) in ga nato z *Raster Calculator* odšteli od vhodnega DMV. VRM (Sappington, Longshore in Thompson 2007) smo izračunali z orodjem oz. skripto *Vector Ruggedness Measure*, ki je na voljo v okviru paketa *Arc Hydro Tools Pro*. Pri izračunu TPI in VRM smo kot vhodni podatek uporabili LiDAR DMV z ločljivostjo celice 1×1 m, ki je v obliki podatkovnega oblaka točk tal prosto dostopen na spletni strani Agencije Republike Slovenije za okolje (Triglav Čekada in Bric 2015). Spremenljivke, ki so opredeljene kot razdalja (oddaljenost do izdankov kamnin in vrtač) smo razdelili v šest razredov (preglednica 1). TPI smo razdelili glede na vrednosti, ki jih predlaga Weiss (2001). Za VRM (razgibanost) in kamnitost površja pa smo uporabili razdelitev glede na Jenksove naravne razrede in vrednosti razdelili v pet razredov (preglednica 1).

Za primerjavo reliefnih značilnosti neposredne okolice jam s splošnimi značilnostmi površja preučevanega območja, smo uporabili pristop ekološkega modeliranja, ki temelji na primerjavi preučevanih lokacij z lokacijami, ki so na območju »na voljo« (*use-availability approach*; Johnson 1980). Na vsaki litološki enoti smo z orodjem *Create Random Points* ustvarili naključne točke. Število naključnih točk je na vsaki litološki enoti enako številu jam v isti enoti. Jamam in naključnim točkam smo pripisali vrednosti izbranih spremenljivk. Prostorske analize smo izvedli z ESRI-jevo programsko opremo *ArcGIS Pro 3.0.3* (ESRI, Redlands, CA, USA).

Da bi ugotovili katere spremenljivke pomembno vplivajo na pojavljanje jam, smo podatke statistično obdelali s programskim orodjem R (R Core Team, Vienna, Austria). V okviru paketa »lme4« v.1.1-30 (Bates s sodelavci 2015) smo sestavili modele logistične regresije z binarno odvisno spremenljivko (0 = naključna točka, 1 = jama). Pred modeliranjem smo z metodo faktorja inflacije variance (*variance inflation factor*; VIF) preverili ali med spremenljivkami prihaja do korelacije. V analizi smo obdržali le tiste spremenljivke, ki so imele vrednost VIF nižjo od 3 (Zuur, Ieno in Elphick 2010). Prav tako smo pred modeliranjem, z namenom izboljšanja delovanja modelov, razmernostne spremenljivke standardizirali na z-vrednosti tako, da smo od konkretnih enot odšteli njihovo povprečje in jih delili z dvema

Preglednica 1: Vrednosti razredov za spremenljivke: razdalja do izdankov kamnin in razdalja do vrtač, topografski pozicijski indeks (TPI), razgibanost površja (Vector Ruggedness Measure; VRM) in kamnitost površja.

razred	razdalja (m)	TPI	VRM	kamnitost (m ²)
1	≤ 10 (zelo majhna)	≤ -1 (dolina/depresija)	≤ 0,03 (zelo nizka)	≤ 14,6 (zelo nizka)
2	10 ≤ 20 (majhna)	-1 ≤ -0,5 (ravnina/spodnje pobočje)	0,03 ≤ 0,10 (nizka)	14,6 ≤ 46,4 (nizka)
3	20 ≤ 30 (srednja)	-0,5 ≤ 0,5 (srednje pobočje)	0,10 ≤ 0,20 (srednja)	46,4 ≤ 89,7 (srednja)
4	30 ≤ 40 (srednje velika)	0,5 ≤ 1 (zgornje pobočje)	0,20 ≤ 0,34 (velika)	89,7 ≤ 145,4 (velika)
5	40 ≤ 50 (velika)	> 1 (greben)	0,34 ≤ 0,77 (zelo velika)	145,4 ≤ 265,7 (zelo velika)
6	> 50 (zelo velika)	/	/	/

standardnima odklonoma (Gelman 2008). Za modele smo podali Akaike informacijski kriterij (Akaike information criteria; AIC) in za vsak model izračunali razliko do ničelnega modela (ΔAIC). Ničelne modele smo vključili za preverjanje pomembnosti izbranih spremenljivk. Za oceno ustreznosti modelov smo uporabili metodo navzkrižnega preverjanja (*»k-fold cross-validation«*; Boyce s sodelavci 2002). Podatke smo razdelili na podvzorci v razmerju 80 % : 20 % in postopek ponovili petkrat. Za oceno razmerij med rangi modelov in rangi podvorcev podatkov smo uporabili Spearmanov koeficient korelacije, kjer se od dobro delujočih modelov pričakuje visoka vrednost korelacije ($\rho > 0,80$; Boyce s sodelavci 2002).

4 Rezultati

4.1 Jame

Da bi ugotovili katere mikroreliefne spremenljivke vplivajo na pojavljanje jam, smo uporabili podatke o 5923 jamah in enako število naključnih točk. Na celotnem preučevanem območju je registriranih 9010 jam (Kataster jam 2024), zaradi nenatančne lege pa smo jih 3087 izločili. Od jam vključenih v analizo jih je bila večina opredeljenih kot jame v apnencu, sledijo jame v dolomitu, najmanj pa je bilo jam v ostalih kamninah. Število, delež in gostota vključenih jam ter vseh jam na območju so predstavljeni v preglednici 2.

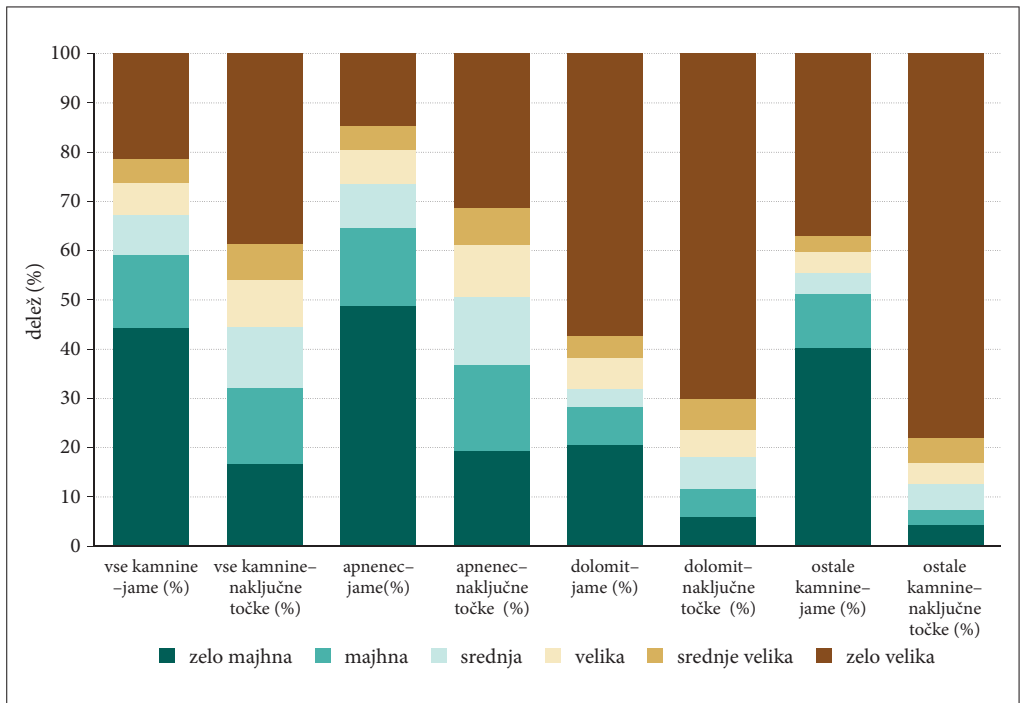
S faktorjem inflacije variance smo preverili ali med spremenljivkami prihaja do korelacije. Ker je bila vrednost spremenljivke VRM višja od 3 ($VRM_{VIF} = 3,13$), smo spremenljivko iz modelov odstranili ostale pa ohranili ($R_{izdanki_kamin}{}_{VIF} = 1,08$, $kamnitost_{VIF} = 1,59$, $R_{vrtače}{}_{VIF} = 1,03$, $TPI_{VIF} = 2,41$).

Preglednica 2: Število, delež in gostota jam glede na litološke enote za jame vključene v analizo (lega jam potrjena na podlagi GPS, GPS-RTK, LiDAR-ja ali teodolitske metode) in vse jame na preučevanem območju.

	površina območja	število jam	delež jam	gostota jam
vse jame na preučevanem območju				
vse jame	5702,3 km ²	9010	100 %	1,6 jam/km ²
jame v apnencu	3186,6 km ²	7414	82,3 %	2,3 jam/km ²
jame v dolomitu	1255,9 km ²	1233	13,7 %	1,0 jam/km ²
jame v ostalih kamninah	1259,8 km ²	363	4,0 %	0,3 jam/km ²
jame vključene v analizo				
vse jame	5702,3 km ²	5923	100 %	1,0 jam/km ²
jame v apnencu	3186,6 km ²	4850	81,9 %	1,5 jam/km ²
jame v dolomitu	1255,9 km ²	835	14,1 %	0,7 jam/km ²
jame v ostalih kamninah	1259,8 km ²	238	4,0 %	0,2 jam/km ²

4.2 Jame v odnosu do izdankov kamnin

Rezultati analize kažejo, da se deleži jam in naključnih točk v odnosu do izdankov kamnin pomembno razlikujejo. Delež jam v razredu z zelo majhno razdaljo do izdankov kamnin je namreč izrazito večji

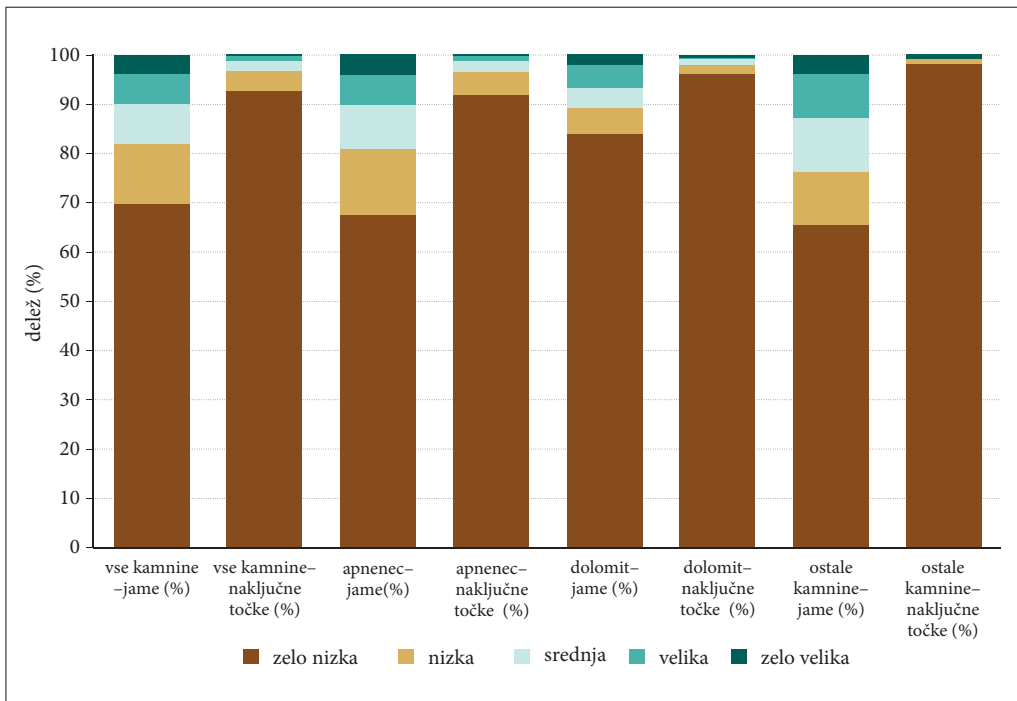


Slika 2: Deleži jam in naključnih točk po posameznih razredih razdalje do izdankov kamnin.

(44,5 %) kot v primeru naključnih točk (16,7 %, slika 2). Obratnosorazmeren je delež v kategoriji zelo velike oddaljenosti od izdankov kamnin. Še posebej izrazita je razlika med jamami (40,3 %) in naključnimi točkami (4,2 %) v ostalih kamninah. Največji delež jam v razredu z zelo majhno razdaljo do izdankov kamnin se sicer pojavlja v apnencu (48,9 %), v dolomitih pa je delež jam v istem razredu izrazito nižji (20,5 %, slika 2).

4.3 Jame v odnosu do kamnitosti površja

Rezultati analize kažejo, da se deleži jam in naključnih točk v odnosu do kamnitosti površja pomembno razlikujejo. Delež jam v razredu z zelo nizko kamnitostjo površja je namreč relativno manjši (69,9 %) kot v primeru naključnih točk (92,8 %; slika 3). Podobna razmerja se ohranjajo tudi pri ostalih razredih kamnitosti površja. Še posebej izrazita je razlika med jamami in naključnimi točkami v ostalih kamninah. Najvišji delež jam v razredu z zelo veliko kamnitostjo površja se sicer pojavlja v apnencu (4,1 %) in ostalih kamninah (3,8 %; slika 3).



Slika 3: Deleži jam in naključnih točk po posameznih razredih kamnitosti površja.

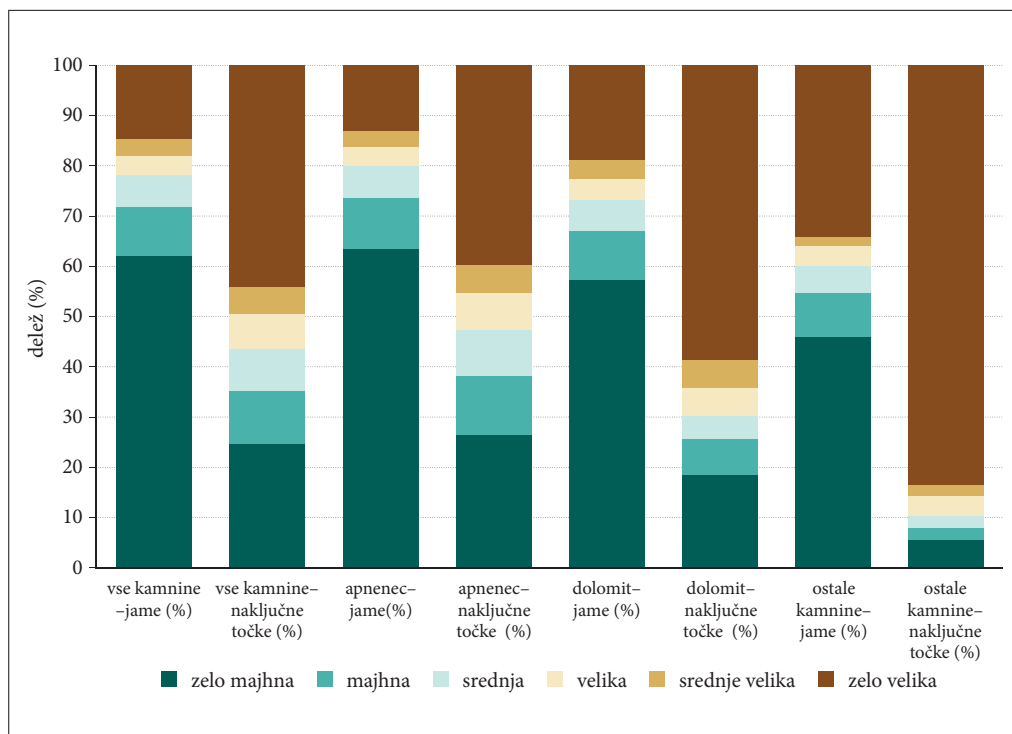
4.4 Jame v odnosu do vrtač

Deleži jam in naključnih točk v odnosu do vrtač se pomembno razlikujejo. Delež vseh jam (45,0 %) v vrtačah je večji kot delež naključnih točk (12,9 %; preglednica 3). Podobna razmerja se ohranjajo tudi pri jamah in naključnih točkah v ostalih litoloških enotah. Največji delež jam v vrtačah je v apnencu (46,3 %), najbolj izrazita pa je razlika (približno 35 %) med jamami in naključnimi točkami v ostalih kamninah (preglednica 3).

Pri spremenljivki razdalja do vrtač se deleži jam in naključnih točk pomembno razlikujejo. Delež jam v razredu z zelo majhno razdaljo do vrtač je izrazito večji (62,1 %) kot v primeru naključnih točk (24,6 %, slika 4). Podobna razmerja se ohranjajo tudi pri jamah in naključnih točkah v ostalih litoloških enotah. Največji delež jam v razredu z zelo majhno razdaljo do vrtač je v apnenecu (63,3 %), sledijo jame v dolomitu (57,5 %). Čeprav je delež jam v ostalih kamninah v razredu z zelo majhno razdaljo do vrtač najnižji (45,8 %), je razlika v tej litološki enoti v primerjavi z naključnimi točkami največja (40,3 %). Iz rezultatov je razvidno, da se več kot 50 % jam v vseh litoloških enotah pojavlja v neposredni bližini vrtač (razdalja do vrtač ≤ 20 m, slika 5).

Preglednica 3: Deleži jam in naključnih točk v vrtačah.

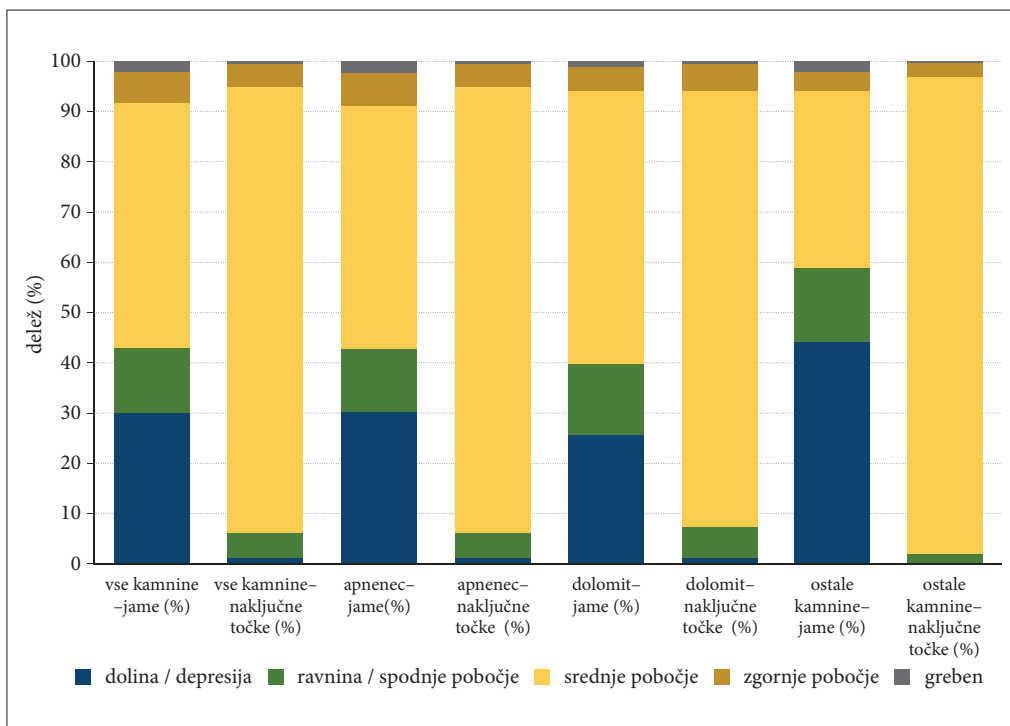
	delež jam (%)	delež naključnih točk (%)
vse kamnine	45,0	12,9
apnenec	46,3	13,9
dolomit	40,4	10,2
ostale kamnine	35,7	1,7



Slika 4: Deleži jam in naključnih točk po posameznih razredih razdalje do vrtač.

4.5 Jame v odnosu do topografskega pozicijskega indeksa (TPI)

Rezultati analize kažejo, da je glede na vrednosti TPI večina jam (48,9 %) v razredu srednje pobočje, vendar pa je v primerjavi z naključnimi točkami ta delež občutno nižji (88,8 %, slika 5). V vseh litoloških enotah je delež jam (30,0 %) v primerjavi z naključnimi točkami (0,0 %) v razredu dolina oz. depresija (npr. vrtače) občutno višji, najbolj izrazit pa je pri jamah v ostalih kamninah. Za razliko od ostalih litoloških enot, kjer je delež jam najvišji v razredu srednje pobočje, je delež jam v ostalih kamninah najvišji prav v razredu dolina oz. depresija (44,1 %, slika 5).



Slika 5: Deleži jam in naključnih točk po posameznih razredih topografskega pozicijskega indeksa (TPI).

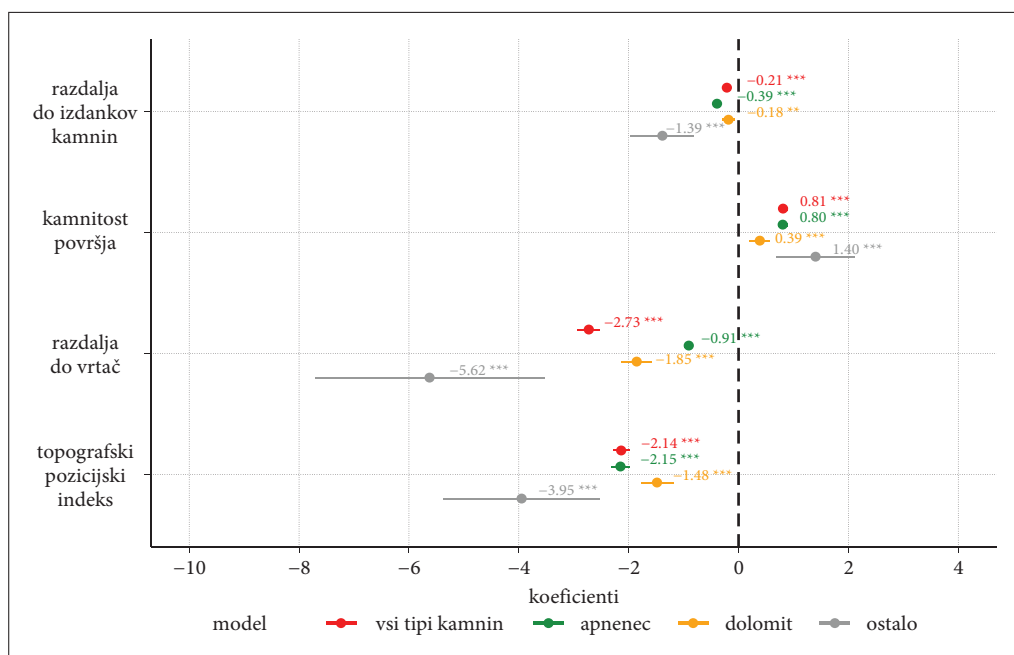
4.6 Modeliranje napovedovanja povezanosti mikroreliefnih oblik in pojavljanja jam

Vrednosti AIC in ΔAIC kažejo, da so bili modeli z vključenimi spremenljivkami boljši od ničelnih modelov (preglednica 4), kar potrjuje pomembnost izbranih spremenljivk pri napovedovanju povezanosti mikroreliefnih značilnosti s pojavljanjem jam. Vrednosti Spearmanovega koeficienta korelacije (preglednica 4) kažejo na zelo visoko prileganje modelov za vse jame ($\rho = 1,00$), jame v apnencih ($\rho = 1,00$) in jame v dolomitih ($\rho = 0,98$), medtem ko je prileganje modela za jame v ostalih kamninah zmerno ($\rho = 0,78$).

Vse vključene spremenljivke v modelih za napovedovanje povezanosti mikroreliefnih značilnosti s pojavljanjem jam so statistično značilne (slika 6). Rezultati kažejo na to, da se jame pogosteje pojavljajo v bližini izdankov kamnin in vrtač, na bolj kamnitih območjih in na območjih z nižjimi vrednostmi TPI kot naključne točke (slika 6). Med posameznimi modeli se kažejo razlike v učinkih spremenljivk

Preglednica 4: Za primerjavo uspešnosti modelov smo vključili tudi informacije o ničelnih modelih. V preglednici so predstavljene formule modelov logistične regresije, k – število spremenljivk, AIC – Akaike informacijski kriterij, ΔAIC – razlika AIC, ρ – Spearmanov koeficient korelacije.

model	formula	k	AIC	ΔAIC	ρ
vse jame					
spremenljivke	jama ~ r_izdanki_k. + kamnitost + r_vrtača + TPI	5	12.562,04	0,00	1,00
ničelni model	jama ~ 1	2	16.424,04	3862	0,52
jame v apnencu					
spremenljivke	jama ~ r_izdanki_k. + kamnitost + r_vrtača + TPI	5	10.205,65	0,00	1,00
ničelni model	jama ~ 1	2	13.449,06	3243,41	0,52
jame v dolomitu					
spremenljivke	jama ~ r_izdanki_k. + kamnitost + r_vrtača + TPI	5	1716,06	0,00	0,98
ničelni model	jama ~ 1	2	2317,11	601,05	0,52
jame v ostalih kamninah					
spremenljivke	jama ~ r_izdanki_k. + kamnitost + r_vrtača + TPI	5	304,48	0,00	0,78
ničelni model	jama ~ 1	2	661,88	357,40	0,52



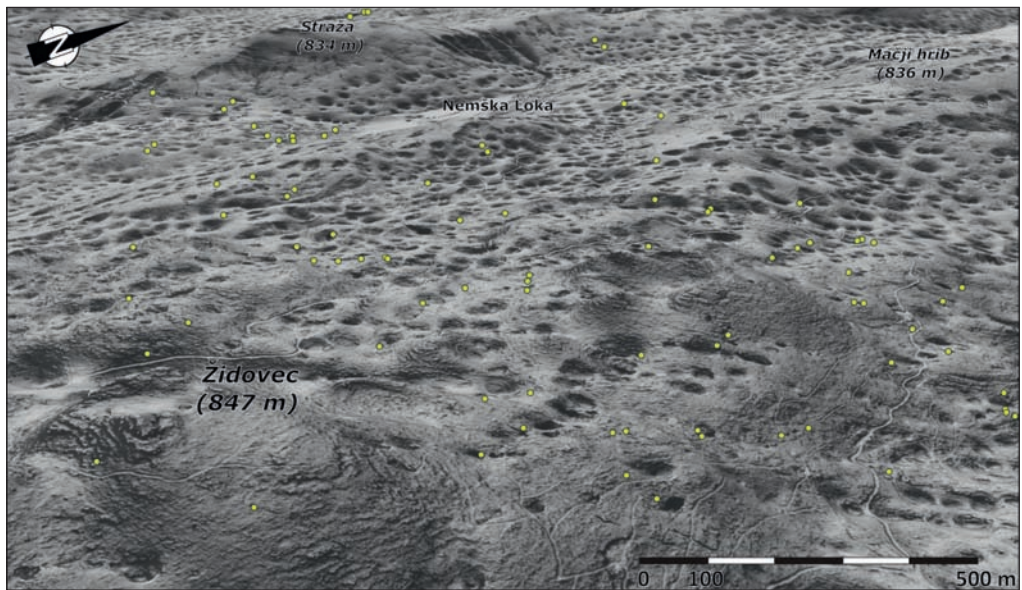
Slika 6: Ocenjeni koeficienti s 95-odstotnimi intervali zaupanja za modele logistične regresije za vse jame (rdeča), jame v apnencih (zelena), jame v dolomiti (oranžna) in jame v ostalih kamninah (siva). Koeficienti označujejo verjetnost pojavljanja jam v primerjavi z naključnimi točkami. Intervali, ki se ne prekrivajo z ničlo, kažejo na statistično pomembne učinke. Spremenljivki razdalja do izdankov kamnin in razdalja do vrtač temeljita na razdalji, zato negativne vrednosti kažejo na bližino.

na pojavljanje jam. Pri vseh jamah, jamah v dolomitih in jamah v ostalih kamninah ima največji učinek razdalja do vrtač, sledi TPI, nižji učinek ima kamnitost površja, najmanjši učinek pa ima razdalja do izdankov kamnin (slika 6). Na pojavljanje jam v apnencih najbolj vpliva TPI, sledita razdalja do vrtač in kamnitost površja, najmanjši učinek pa ima razdalja do izdankov kamnin (slika 6). Vrednosti koeficientov so najizrazitejše v primeru modela jam v ostalih kamninah, kar nakazuje, da se jame na ostalih kamninah pojavljajo še bližje vrtačam in izdankom kamnin ter na območjih z višjo kamnitostjo in nižjimi vrednostmi TPI (slika 6).

5 Diskusija

Rezultati kažejo, da se jame pojavljajo v bližini izdankov kamnin, na območjih z večjo kamnitostjo površja, v vrtačah oz. njihovi neposredni okolici in na območjih, kjer so vrednosti topografskega pozicijskega indeksa (TPI) nižje (slika 7). Na to kažejo tako rezultati primerjave deležev jam po razredih z naključnimi točkami, kot tudi rezultati modeliranja. S pojavljanjem jam sta najbolj povezani spremenljivki razdalja do vrtač in TPI, najmanj pa kamnitost površja in razdalja do izdankov kamnin.

Čeprav ima glede na rezultate modeliranja razdalja do izdankov kamnin najnižje učinke na pojavljanje jam, se v njihovi neposredni bližini (razdalja ≤ 20 m) v apnencih pojavlja približno 60 % jam, v ostalih kamninah pa okoli 50 % jam. Delež jam v dolomitu v njihovi neposredni okolici je nekoliko nižji (približno 30 %). Glede na razrede kamnitosti površja, se večina jam (v vseh razredih > 65 % jam) pojavlja na območjih z zelo nizko kamnitostjo, vendar pa je ta delež v primerjavi z naključnimi točkami nižji (v vseh litoloških enotah > 95 % naključnih točk), kar nakazuje, da so jame pogostejše na območjih z večjo kamnitostjo površja. Tako kot pri razdalji do izdankov kamnin, je tudi delež jam v dolomitu v razredu zelo nizke kamnitosti višji za približno 15–20 % kot pri vseh jamah, jamah v apnencih in ostalih



Slika 7: Primer pojavljanja jam na območju Židovca na Poljanski gori, kjer prevladujejo apnenci kredne in jurske starosti. S slike je razvidno, da se večina jam pojavlja v bližini vrtač in na razgibanem terenu, ki lahko nakazuje na kamnitost površja.

kamninah. Nižje vrednosti deležev jam v dolomitih v odnosu do izdankov kamnin so lahko posledica tega, da je gostota izdankov kamnin v dolomitih (290,3 izdankov kamnin/km²) izjemno nizka v primerjavi z apnenci (1115,2 izdankov kamnin/km²; Čonč s sodelavci 2024). Gostota je sicer še nižja v enoti ostalih kamnin (17,1 izdankov kamnin/km²; Čonč s sodelavci 2024), vendar hkrati v tej enoti prevladujejo predvsem ponorne in izvirne jame, ki se najpogosteje pojavljajo v zatrepih na območju kontaktnega krasa (slika 1). Za zatrepe je značilno, da je nad jamo oblikovana strma stena (Tičar 2015). Pojavljanje izdankov kamnin na površju nakazuje na pretrstost kamnine, ki se odraža kot nezveznost v kamnini (npr. prisotnost por, lezik, razpok, itd.) zaradi razmaknitve skladov. Po nezveznostih se voda pretaka v podzemlje in jih korozijsko širi, kar je predpogoj za nastanek jam (Gams 2004; Ford in Williams 2007; Čar 2018; Stepišnik 2020).

Na pojavljanje vseh jam, jam v dolomitih in jam v ostalih kamninah ima največji učinek razdalja do vrtač, medtem ko na jame v apnencih najbolj vpliva TPI. Zanimivo je predvsem, da ima na pojavljanje jam v ostalih kamninah največji učinek razdalja do vrtač, kljub temu, da je gostota vrtač v ostalih kamninah skoraj zanemarljiva (Mihevc in Mihevc 2021; Čonč s sodelavci 2022). Na ostalih kamninah modeli za avtomatsko zaznavanje kraških kotanj zaznajo predvsem sufozijske vrtače oz. greze ter podobne depresije, ki so na območjih kontaktnega in/ali pokritega krasa oblikovane predvsem v aluvialnih nanosih. V takšnih reliefnih oblikah so pogosto oblikovani požiralniki, ponori in ponikve, ki glede na Kataster jam lahko predstavljajo tudi vhode v jame. Manjša gostota in pojavnost vrtač na ostalih kamninah in velik učinek spremenljivke na jame v ostalih kamninah dodatno nakazuje, da bližina vrtač pomembno vpliva na pojavljanje. Rezultati študije, ki jo je v Kentucky, ZDA, izvedel Blitch s sodelavci (2023), prav tako kažejo na to, da ima bližina vrtač najpomembnejši vpliv pri napovedovanju pojavljanja jam. Razlika v učinku med TPI in razdaljo do vrtač je verjetno povezana s tem, da je v apnencih številčnost in gostota vrtač največja (Mihevc in Mihevc 2021; Čonč s sodelavci 2022), posledično je med vsemi štirimi skupinami obravnavanih jam v apnencih največji tudi delež jam v vrtačah oz. v njihovi neposredni okolici. Na splošno velja, da če je napovedovalna spremenljivka pogosta in zelo razširjena, bo ta za model manj uporabna (Blitch s sodelavci 2023). Ne glede na to, se na vseh litoloških enotah več kot 50 % jam pojavlja v neposredni bližini vrtač (razdalja do vrtač ≤ 20 m), kar lahko opredelimo s tem, da je prostorska razporeditev vrtač na nekaterih območjih Dinarskega krasa močno povezana z geološko strukturo, plastovitostjo kamnin in prelomi (Mihevc in Mihevc 2021). Kot omenjeno, so to tudi pogoji, ki vplivajo na razvoj jam (Gams 2004; Ford in Williams 2007; Čar 2018).

Glede na vrednosti TPI, je večina jam v razredu srednje pobočje. Glede na to, da je visok delež jam (približno 45 % vseh jam) v vrtačah, se morda najpogosteje pojavljajo prav na pobočjih vrtač, kjer se pogosto pojavljajo tudi izdanki kamnin (Čonč s sodelavci 2024). V primerjavi z naključnimi točkami se jame v vseh litoloških enotah pogosteje pojavljajo tudi v reliefnih oblikah, ki so izoblikovane kot depresije (npr. vrtače).

6 Sklep

Izvedena raziskava prikazuje, da je ekološki pristop modeliranja, ki temelji na primerjavi preučevanih lokacij in naključnih točk, ki odražajo splošne značilnosti preučevanega območja (*»use-available approach«*; Johnson 1980), lahko koristno orodje pri preučevanju geomorfoloških značilnosti, natančneje pri napovedovanju vpliva mikroreliefnih značilnosti na pojavljanje jam. Rezultati kažejo, da se jame pojavljajo v bližini izdankov kamnin, na območjih z večjo kamnitostjo površja, v vrtačah oz. njihovi neposredni okolici in na območjih, kjer so vrednosti topografskega pozicijskega indeksa (TPI) nižje. Uporaba metod za ekološko modeliranje (npr. *MaxEnt*) se je že izkazala kot uspešna pri napovedovanju pojavljanja jam (Blitch s sodelavci 2023). Poleg metod za modeliranje pa ima velik potencial tudi uporaba visoko resolucijskih prostorskih podatkov (LiDAR DMV), saj so koristen in zanesljivejši vir informacij za učinkovito odkrivanje in preučevanje prostorskih vzorcev, morfoloških značilnosti

površja in posameznih reliefnih oblik na mikronivoju (Triglav Čekada 2011; Čonč s sodelavci 2022; 2024). Z rezultati pa si lahko pomagamo tudi pri preučevanju in razumevanju povezav med površjem in podzemljem (Breg Valjavec s sodelavci 2022). V nadaljnjih študijah o napovedovanju vpliva geomorfoloških in geoloških značilnosti na pojavljanje jam bi bilo morda smiselno vključiti tudi podatke o izvirih, smereh podzemnega toka, prelomih in geoloških strukturnih elementih (Blitch s sodelavci 2023), vprašljiva pa je prostorska natančnost teh podatkov. Poleg tega pa poznavanje vpliva mikroreliefnih značilnosti na pojavljanje jam lahko pripomore tudi k lažjemu ter stroškovno učinkovitejšemu odkrivanju jam ter k njihovem zavarovanju in ohranjanju.

ZAHVALA: Raziskavo je financirala Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije v okviru raziskovalnega programa Geografija Slovenije (P6-0101), financiranje mlade raziskovalke (MR-54767) ter temeljnih raziskovalnih projektov Koncept soodvisnosti v krasu: povezanost vrtač in jam z vidika antropogenih vplivov (J6-2592) in Podpora rekonstrukciji holocenskega podnebja z visokoločljivimi kriosferskimi podatki iz kraških ledenih jam v Sloveniji (J6-50214).

7 Viri in literatura

- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., Walker, S. 2015: Fitting linear mixed-effects models using lme4. arXiv:1406.5823. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1406.5823>
- 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>
- Blitch, W., Sovie, A. R., Tobin, B. W., 2023. Predictive modeling of cave entrance locations: relationships between surface and subsurface morphology. *International Journal of Speleology* 52-2. DOI: <https://doi.org/10.5038/1827-806X.52.2.2455>
- Boyce, M. S., Vernier, P. R., Nielsen, S. E., Schmiegelow, F. K. A. 2002: Evaluating resource selection functions. *Ecological Modelling* 157-2,3. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00200-4](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00200-4)
- Breg Valjavec, M., Ciglič, R., Tičar, J., Šebela, S. 2022: Določanje geomorfoloških in hidrogeoloških povezav med vrtačami in jamo Polina peč s 3D laserskim skeniranjem. *Preteklost in prihodnost, GIS v Sloveniji* 16. Ljubljana. DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_03
- Chiba, T., Kaneta, S., Suzuki, Y. 2008: Red relief image map: New visualization method for three dimensional data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 37-2.
- Čar, J. 2018: Geostructural mapping of karstified limestones. *Geologija* 61-2. DOI: <https://doi.org/10.5474/geologija.2018.010>
- Čekada, M., Gostinčar, P. 2016: Uporaba lidarja v jamarstvu. *Digitalni podatki, GIS v Sloveniji* 13. Ljubljana. DOI: <https://doi.org/10.3986/9789612549305>
- Čonč, Š., Oliveira, T., Belotti, E., Bufka, L., Černe, R., Heurich, M., Breg Valjavec, M., Krofel, M. 2024: Revealing functional responses in habitat selection of rocky features and rugged terrain by Eurasian lynx (*Lynx lynx*) using LiDAR data. *Landscape Ecology* 39. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10980-024-01923-y>
- 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>
- Day, M., Chenoweth, S. 2013: Surface roughness of karst landscapes. *Treatise on Geomorphology* 6. London. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00108-1>
- Fitzsimons, J. A., Michael, D. R. 2017: Rocky outcrops: A hard road in the conservation of critical habitats. *Biological Conservation* 211-B. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.11.019>
- Ford, D., Williams, P.D. 2007: *Karst hydrogeology and geomorphology*. Chichester. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118684986>

- Gams, I. 2004: Kras v Sloveniji v prostoru in času. Ljubljana.
- Gelman, A. 2008: Scaling regression inputs by dividing by two standard deviations. *Statistics in Medicine* 27-15. DOI: <https://doi.org/10.1002/sim.3107>
- Gostinčar, P., Stepišnik, U. 2023: Extent and spatial distribution of karst in Slovenia. *Acta geographica Slovenica* 63-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/AGS.11679>
- Hrvatina, M. 2016: Morfometrične značilnosti površja na različnih kamninah v Sloveniji. Doktorska disertacija, Fakulteta za humanistične študije Univerze na Primorskem, Koper.
- Hrvatina, M., Perko, D. 2012: Uporabnost topografskega pozicijskega indeksa za morfološko analizo površja. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2011–2012, GIS v Sloveniji 11*. Ljubljana. DOI: <https://doi.org/10.3986/9789612545956>
- Jamarska zveza Slovenije, 2014: Navodila za izpolnjevanje zapisnikov Katastra jam. Ljubljana.
- Johnson, D. H. 1980: The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference. *Ecology* 61-1. DOI: <https://doi.org/10.2307/1937156>
- Kataster jam 2024. Jamarska zveza Slovenije, Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU. Ljubljana, Postojna.
- 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>
- Mihevc, A., Prelovšek, M., Zupan Hajna, N. 2010: Introduction to the Dinaric Karst. Postojna. DOI: <https://doi.org/10.3986/9789612541989>
- Palmer, A. N., 2007: Cave geology. Ohio.
- 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>
- Stefanovski, S., Repe, B. 2021: Proučevanje vzpetin kopastega krasa s pomočjo digitalnega modela višin. *Dela* 52. DOI: <https://doi.org/10.4312/dela.52.141-160>
- Stefanovski, S., Kokalj, Ž., Stepišnik, U. 2024: Sky-View Factor Enhanced Doline Delineation: A Comparative Methodological Review Based on Case Studies in Slovenia. *Geomorphology* (v recenziji).
- Stepišnik, U. 2020: Fizična geografija krasa. Ljubljana.
- Telbisz, T. 2021: Lidar-based morphometry of conical hills in temperate karst areas in Slovenia. *Remote Sensing* 13. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13142668>
- Tičar, J. 2015: Geomorfološke značilnosti izbranih zatrepnih dolin v Sloveniji. *Geografski vestnik* 87-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/GV87102>
- Tičar, J., Čekada, M. 2018: Natančnost določanja lege naravnih vrednot v Sloveniji na primeru kraških jam. *GIS v Sloveniji* 13-14. Ljubljana. DOI: <https://doi.org/10.3986/9789610501138>
- 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.
- Twidale, C. R. 2000: Granite outcrops: Their utilisation and conservation. *Journal of the Royal Society of Western Australia* 83-3.
- Valavi, R., Guillera-Aroita, G., Lahoz-Monfort, J. J., Elith, J., 2021: Predictive performance of presence-only species distribution models: a benchmark study with reproducible code. *Ecological Monographs* 92-1. DOI: <https://doi.org/10.1002/ecm.1486>
- Veress, M. 2020: Karst types and their karstification. *Journal of Earth Science* 31. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12583-020-1306-x>
- Weiss, A. D. 2001: Topographic position and landforms analysis. *ESRI Users Conference*. San Diego.
- Zakon o varstvu podzemnih jam. Uradni list RS št. 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>
- Zorn, M., Ferk, M., Lipar, M., Komac, B., Tičar, J., Hrvatin, M. (2020): Landforms of Slovenia. The Geography of Slovenia, World Regional Geography Book Series. Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-14066-3_3
- Zupan Hajna, N., 2004: Karst in Slovenia. Slovenia: A Geographical Overview. Ljubljana.
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., Elphick C. S. 2010: A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in Ecology and Evolution* 1-1. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2009.00001.x>

DIGITALNE VEZI GEODETSKIH ZNAMENJ MED PRETEKLOSTJO IN SEDANJOSTJO

dr. Mihaela Triglav Čekada

Geodetski inštitut Slovenije; Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
mihaela.triglav@gis.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4200-2616>

mag. Katja Oven

Geodetski inštitut Slovenije
katja.oven@gis.si

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610508885_03

UDK: 528.338(497.4)

IZVLEČEK

Digitalne vezi geodetskih znamenj med preteklostjo in sedanjostjo

Različna geodetska znamenja predstavljajo pomembne materialne ostaline geodetske stroke, ki omogočajo povezavo med koordinatnimi sistemi in drugimi prostorskimi podatki, tako preteklimi kot sodobnimi. Najstarejša imajo poleg pomena za geodezijo tudi kulturnozgodovinski pomen, zato je pomembna njihova ohranitev, kot tudi vpis izbranih geodetskih znamenj v Register kulturne dediščine. V prispevku predstavljamo pobude za vpis v Register kulturne dediščine, ki smo jih v zadnjih treh letih pod okriljem Geodetske uprave Republike Slovenije pripravili na Geodetskem inštitutu Slovenije in predali Zavodu za varstvo kulturne dediščine Slovenije. Poleg priprave pobud smo leta 2022 začeli izdajati publikacije Geodetski utrinki, ki na poljuden način predstavljajo izbrana geodetska znamenja in so namenjena promociji geodezije med splošno javnostjo. Nadejamo se, da bomo s tovrstnimi dejavnostmi dolgoročno preprečili izginotje tovrstne geodetske dediščine.

KLJUČNE BESEDE

geodetska dediščina, geodetska znamenja, trigonometrične točke, mejniki katastrskih občin, Register kulturne dediščine, Geodetski utrinki

ABSTRACT

Digital links of geodetic marks between past and present

Geodetic marks in various forms are important material remnants of the geodetic profession that provide a link between coordinate systems and other spatial data, both past and present. In addition to their importance for geodesy, the oldest ones also have a cultural and historical significance. It is therefore important to protect them and register them in the national Register of Cultural Heritage. In this article, we present the initiatives for their inscription in the Register of Cultural Heritage that have been prepared by the Geodetic Institute of Slovenia under the auspices of the Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia over the past three years and submitted to the Institute for the Protection of Cultural Heritage of Slovenia. In addition to the initiatives, in 2022 we have started publishing brochures entitled Geodetic Highlights, which are intended to present selected geodetic marks in a popular way and make geodesy better known to the general public. We hope that these activities will prevent the loss of this geodetic heritage.

KEY WORDS

geodetic heritage, geodetic marks, trigonometric points, boundary marks of cadastral municipalities, Register of Cultural Heritage, Geodetic Highlights

1 Uvod

Geodetska znamenja predstavljajo materialne ostanke geodetskih mrež in zemljiškokatastrskih razmerij v prostoru. Na podlagi geodetskih mrež so vzpostavljeni koordinatni sistemi, ki predstavljajo osnovo za vse geodetske meritve, ki so omogočale in še vedno omogočajo različna kartiranja države ter izvedbo številnih geoinformacijskih nalog. Zato lahko rečemo, da geodetska znamenja predstavljajo materialno in hkrati digitalno vez med vsemi današnjimi geoinformacijskimi izdelki.

Prve, s posebnimi geodetskimi znamenji stabilizirane geodetske mreže, ki so pokrivala večji del današnje Slovenije, so vzpostavili v prvih desetletjih 19. stoletja. To so bile točke trigonometričnih mrež, ki so opredelile koordinatni sistem za izvedbo franciscejske zemljiškokatastrske izmere (Korošec 1978; Triglav Čekada in Jenko 2020). Iz tega obdobja so se ohranile nekatere lokacije, na katerih še danes najdemo geodetska znamenja. Ta hkrati predstavljajo trigonometrično točko in mejnik katastrske občine (Triglav Čekada s sodelavci 2022a). Z vsako obnovo trigonometričnih mrež so v naslednjih 200 letih večinoma zamenjali stara znamenja z novimi ter dodali nove lokacije, na katerih so postavili nova geodetska znamenja, s čimer so omogočali položajno točnejšo izmero oziroma so sledili napredku v razvoju geodetske izmere. Tako smo prešli od na začetku najbolj pogostih drevesnih znamenj, do stalno stabiliziranih geodetskih znamenj različnih oblik – od kvadrov različnih velikosti do različnih opazovalnih stebrov. Zadnjo sistematično obnovo vseh trigonometričnih mrež po celotni Sloveniji so izvedli v prvih dveh desetletjih po drugi svetovni vojni. Kasneje je Geodetska uprava Republike Slovenije le vzdrževala državne trigonometrične mreže in v njih nadomeščala uničena geodetska znamenja, na novo pa je vzpostavljala le lokalne poligonometrične mreže (Triglav Čekada in Jenko 2020; Triglav Čekada s sodelavci 2022a).

Z uvedbo merske tehnike globalnih navigacijskih satelitskih sistemov (GNSS) je Geodetska uprava Republike Slovenije v prvem in drugem desetletju 21. stoletja vzpostavila GNSS-omrežje SIGNAL in kombinirano geodetsko mrežo 0. reda (Oven s sodelavci 2019). Leta 2006 se je GNSS-izmera uradno uvedla v geodetsko prakso, s tem pa se je hkrati uveljavil tudi nov horizontalni koordinatni sistem D96/TM (Zakon ... 2006). S tem so prej vzpostavljene trigonometrične mreže začele izgubljati praktični pomen. Posledično se je prenehalo tudi redno vzdrževanje trigonometričnih in drugih mrež iz predhodnega obdobja, ki ga v geodeziji danes imenujemo tudi obdobje klasične izmere. Geodetska znamenja iz tega obdobja lahko tudi danes s pridom uporabimo, saj nam v oteženih pogojih za GNSS-izmero še vedno omogočajo navezavo na koordinatni sistem ter omogočajo izvedbo geodetskih izmer. Zato je védenje o tem, koliko točk in kje so se ohranile, za geodezijo še vedno pomembno.

Triglav Čekada, Maver in Kogoj (2022) so na terenu preverili delež ohranjenosti trigonometričnih znamenj v dveh gozdnatih območjih (Menišija in okolica Žužemberka), kjer je bilo postavljenih 69 trigonometričnih znamenj, ohranilo pa se jih je 74 %. Na območju poselitve in obdelovalnih zemljišč v okolici Žužemberka, kjer je bilo postavljenih 37 trigonometričnih znamenj, pa se jih je do danes ohranilo le 46 %. Tudi drugod po Sloveniji lahko v gozdnatih območjih pričakujemo precej višji delež ohranjenih trigonometričnih točk kot v poseljenih območjih in na obdelovalnih zemljiščih.

Geodetska znamenja, ki so se ponekod ohranila še iz časov prvih sistematičnih geodetskih izmer zemljiškega katastra, so danes pridobila tudi kulturnozgodovinski pomen in zato predstavljajo pomembno geodetsko dediščino (Kozorog 2008; 2023; Lisec s sodelavci 2020; Triglav Čekada, Rože in Škafar 2022; Zorn in Mikša 2022; Žorž 2022; Triglav Čekada 2023). Žal se njihovega pomena ponavadi zavedajo le strokovnjaki (Zorn in Mikša 2021), domačini, ki so glavni varuhi lokalne dediščine, pa se (pre)pogosto ne zavedajo, zakaj imajo »na svojem dvorišču« postavljen različne tipe geodetskih znamenj. Nepoznavanje nemalokrat botruje uniče(va)nju ali prestavljanju geodetskih znamenj, kot ugotavljajo Maver (2021), Zorjan (2023) in Širca (2023). Nadaljnji trend uničevanja geodetskih znamenj lahko ustavimo le z izobraževanjem in ozaveščanjem o različnih pomenih geodetskih znamenj.

V članku predstavljamo dva načina promocije geodetskih znamenj, katerih poglobilni namen je širjenje zavedanja o še vedno uporabni vlogi različnih geodetskih znamenj, tj. vpis izbranih geodetskih

znamenj v Register kulturne dediščine ter izdajanje publikacij *Geodetski utrinki* za popularizacijo geodetske dediščine.

2 Pobude za vpis izbranih geodetskih znamenj v Register kulturne dediščine

Na Geodetskem inštitutu Slovenije smo v okviru ciljnega raziskovalnega programa »Stalna geodetska znamenja kot temelj za kakovostno delovanje geodetske stroke« (V2-1924), ki je potekal pod okriljem Geodetske uprave Republike Slovenije, izdelali pilotno evidenco pomembnih geodetskih znamenj. Znamenja smo ovrednotili glede na njihov potencial: geodetski, kulturnozgodovinski in turistični (Triglav Čekada s sodelavci 2021). Leta 2021 smo začeli pripravljati vloge za vpis izbranih geodetskih znamenj v Register kulturne dediščine. V letih 2021–2023 smo izdelali predloge za 15 posameznih oziroma skupin geodetskih znamenj (preglednica 1 in slika 1). Vse smo predlagali za vpis v Register kulturne dediščine, izbrane pa tudi za razglasitev za kulturni spomenik. Ker morajo pobudo za vpis, ki ima obliko strokovne ocene, preučiti in strokovno ovrednotiti na območnih enotah Zavoda za varstvo kulturne dediščine Slovenije (ZVKDS), je sam postopek vpisa prek Informacijsko-dokumentacijskega centra za dediščino pri Direktoratu za kulturno dediščino lahko dolgotrajen. Do oddaje prispevka je bilo na našo pobudo v Register kulturne dediščine vpisanih trinajst geodetskih znamenj.

Z vpisom geodetskega znamenja v Register kulturne dediščine je opredeljeno, da sodi njegovo varovanje v javno korist. S tem pridobi status registrirane dediščine, ki sodi v področje tehniške dediščine. Obstajajo različni pravni režimi varstva kulturne dediščine, med drugim tudi nanašajoč se na pogoje za njihovo nedovoljeno odstranitev. Dodatni pravni režimi varstva se lahko nanašajo na: ohranjanje avtentičnosti lokacije, pojavnost objekta, osnoven namen in delovanje ter vsebinski in prostorski odnos med dediščino in okolico (Oven 2023).

Hkrati s pripravo strokovne pobude za vpis izbranega geodetskega znamenja v Register kulturne dediščine, smo objavili dela, v katerih so posamezna geodetska znamenja podrobneje opisana (preglednica 1, stolpec 3). S tem smo ozaveščanje o pomenu geodetske dediščine razširili tudi med strokovno javnost.

3 Publikacije *Geodetski utrinki*

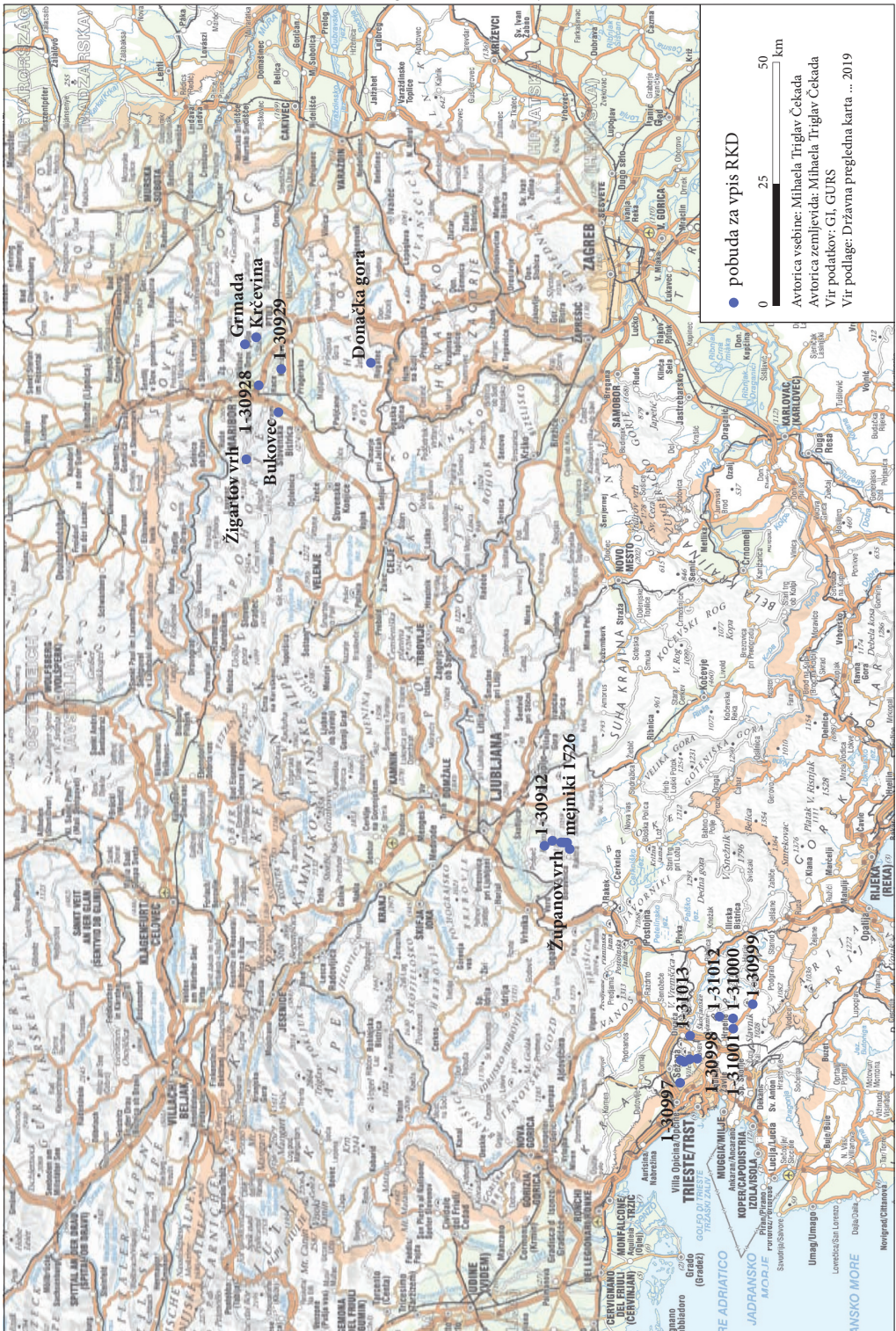
Za varovanje geodetskih znamenj ne zadošča, da jih vpišemo v Register kulturne dediščine in da v strokovnih krogih dvignemo stopnjo ozaveščenosti. Vedenje o njih moramo vnesti tudi v lokalno skupnost, saj lahko v največji meri domačini preprečijo njihovo uničenje. Zaradi tega smo se leta 2022 odločili, da hkrati s pripravo pobud za vpis v Register kulturne dediščine začnemo pripravljati posebne publikacije, ki bodo izhajale v zbirki *Geodetski utrinki*, namenjene splošni javnosti (slika 2). Publikacije obravnavajo (geodetsko) zgodovino izbranih geodetskih znamenj v poljudni in slikovno bogati obliki. Njihova tematika pokriva širok spekter geodetskih znamenj – od trigonometričnih in zemljiškokatastrskih znamenj do geodetskih mrež, vzpostavljenih v zadnjih dveh desetletjih. Večinoma so v eni publikaciji opisana vsa geodetska znamenja z izbrane lokacije oziroma neposredne bližine (preglednica 2).

Da bi publikacije dosegle čim širši krog bralcev, so na voljo brezplačno, običajno v planinskih kočah ali turistično zanimivih lokacijah v bližini geodetskih znamenj, ki jih obravnavajo (slika 1). Štiri so dostopne v: planinski koči na Krimu, centru za obiskovalce Mitski park Rodik, planinskem zavetišču na Koradi, turističnoinformacijskem centru Brda, Vili Vipolže, planinski koči na Menini planini ter turističnoinformacijskem centru Gornji Grad. V manjši nakladi so publikacije na istih lokacijah dostopne tudi

Slika 1: Prostorska razporeditev pobud za vpis geodetskih znamenj v Register kulturne dediščine (RKD).

► (str. 44)

Mihaela Triglav Čekada, Katja Oven



Preglednica 1: Oddane pobude za vpis geodetskih znamenj v Register kulturne dediščine v letih 2021–2023.

pobuda oddana leta	znamenje	literatura s podrobnejšim opisom	enotna identifikacija dediščine (EID) pri ZVKDS oziroma trenutni status pobude
2021	trigonometrična točka I. reda Krim	Oven 2022; Oven in Škafar 2022	1-30912
2021	mejnik med katastrskima občinama Markovščina in Gradišče ob glavni cesti na Matarskem podolju	Triglav, Rože in Škafar 2022	1-30999
2021	mejnik med katastrskima občinama Hrpelje in Materija ob glavni cesti v Matarskem podlju	Triglav, Rože in Škafar 2022	1-31001
2021	Križen drev – mejnik tromeje katastrskih občin Rodik, Podgrad in Artviže	Triglav, Rože in Škafar 2022	1-31012
2021	kamniti osamelec Tri Kunfini – mejnik tromeje katastrskih občin Lokev, Divača in Naklo	Triglav, Rože in Škafar 2022	1-31013
2021	kamniti osamelec Sežanska vrzela – mejnik tromeje katastrskih občin Lokev, Bazovica in Sežana	Triglav, Rože in Škafar 2022	1-31014
2021	Kislica – podrt mejnik tromeje katastrskih občin Lokev, Sežana in Merče, hkrati trigonometrična točka	Triglav, Rože in Škafar 2022	1-31015
2022	mejnik s pričo – mejnik med katastrskima občinama Materija in Brezovica	Triglav, Rože in Škafar 2022	1-31000
2022	Orlek – mejnik med katastrskima občinama Sežana in Trebče oziroma nekdanji mejnik med mestoma Trst in gospostvom Švarcenek	Triglav, Rože in Škafar 2022	1-30997
2022	mejnik XXI – mejnik med katastrskima občinama Lokev in Bazovica oziroma nekdanji mejnik med mestoma Trst in gospostvom Švarcenek	Triglav, Rože in Škafar 2022	1-31016
2022	mejnik XXIV – mejnik med katastrskima občinama Lokev in Bazovica oziroma nekdanji mejnik med mestoma Trst in gospostvom Švarcenek	Triglav, Rože in Škafar 2022	1-30998
2022	mariborska triangulacijska baza iz leta 1860	Oven 2023	1-30928, 1-30929
2023	Županov vrh nad Rakitno – tri vrste stabilizacij trigonometrične točke nižjega reda iz let 1823, 1904 in 1964 na enem mestu	Triglav Čekada 2023	v postopku
2023	štirje mejniki katastrskih občin oziroma nekdanji mejniki pod Krimom med Kartuzijo Bistra in Engelshausi (gospostvo Ig) iz leta 1726	Triglav Čekada 2023	v postopku
2023	mariborska triangulacijska bazna mreža: trigonometrične točke I. reda Bukovec, Krčevina, Žigartov vrh, Donačka gora in Grmada	v delu	v postopku

Preglednica 2: Publikacije v zbirki Geodetski utrinki.

leto izdaje	naslov	opisano geodetsko znamenje	lokacija
2022	Geodetska točka na Krimu	trigonometrična točka I. reda in njene ekscentrične točke	Krim
2022	Geodetske točke v Mitskem parku Rodik	mejniki katastrskih občin iz časa franciscejske katastrske izmere; mejniki, ki imajo hkrati vlogo trigonometričnih točk nižjih redov; italijanski tip trigonometričnih točk	Mitski park Rodik, Kokoš-Lipica, Matarsko podolje
2023	Geodetske točke na Koradi	trigonometrična točka I. reda; točka kombinirane geodetske mreže 0. reda; druge trigonometrične točke nižjih redov v okolici	Korada, Brda
2024	Geodetske točke na Menini planini	trigonometrična točka I. reda; trigonometrične točke nižjih redov; točka pasivne kontrolne GNSS-mreže; mejniki katastrskih občin iz časa franciscejske katastrske izmere	Menina planina, Trojane

v angleškem jeziku. Hkrati lahko bralci prek QR-kode dostopajo do skupne spletne strani zbirke *Geodetski utrinki* (<https://gis.si/geodetski-utrinki/>), kjer so vse izdane publikacije prosto dostopne (Oven s sodelavci 2022; Triglav Čekada s sodelavci 2022b; 2023; 2024).

Publikacije delimo tudi na dogodkih za splošno javnost, ki jih izvajamo v okviru aplikativnega raziskovalnega projekta »Geodetska znamenja kot materialni pričevalci razvoja geodetskih mrež na Slovenskem« (L2-50090), ki poteka od konca leta 2023. Na teh dogodkih ne le, da želimo o geodetskih znamenjih ozavestiti lokalne prebivalce, temveč želimo od njih pridobiti tudi lokalne zgodbe, ki so povezane s temi znamenji, saj so nemalokrat povezana z lokalnim zgodovinskim spominom (Triglav Čekada, Rože in Škafar 2022).

4 Sklep

V okviru aplikativnega raziskovalnega projekta »Geodetska znamenja kot materialni pričevalci razvoja geodetskih mrež na Slovenskem« (L2-50090) načrtujemo v prihodnjih letih še več publikacij, ki bodo na poljuden način predstavljale geodetsko dediščino. Nadaljevati nameravamo tudi s pobudami za vpis izbranih geodetskih znamenj v Register kulturne dediščine. Namen obeh aktivnosti je širšo javnost ozavestiti o pomenu različnih geodetskih znamenj in njihovi še vedno aktualni geodetski vlogi. S tem želimo tudi preprečiti njihovo uniče(va)nje in prispevati k ohranjanju geodetske dediščine.

S promocijo in vpisom izbranih geodetskih znamenj v Register kulturne dediščine vzpostavljamo »digitalno vez«, ki povezuje osnovno geodetsko infrastrukturo z ostalo kulturno dediščino.

ZAHVALA: Prispevek je deloma nastal v okviru aplikativnega raziskovalnega projekta »Geodetska znamenja kot materialni pričevalci razvoja geodetskih mrež na Slovenskem« (L2-50090), ki ga financirata Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije in Geodetska uprava Republike Slovenije. Posebej se zahvaljujemo Uradu za geodezijo Geodetske uprave Republike Slovenije, ki idejno in finančno podpira izvajanje projektov s področja tehniške geodetske dediščine.



Slika 2: Prve štiri izdaje Geodetskih utrinkov.

5 Viri in literatura

- Korošec, B. 1978: Naš prostor v času in projekciji. Ljubljana.
- Kozorog, E. 2008: Mejna znamenja na Severnem Primorskem. Goriški letnik 32.
- Kozorog, E. 2023: Goriški pomerij. Goriški letnik 47.
- Lisec, A., Dajnko, J., Flogie Dolinar, E., Čeh, M. 2020: Mreža meja in mejnikov: nominacija za Unescovo svetovno dediščino. Geodetski vestnik 64-3.
- Maver, R. 2021: Pregled stanja točk državnih trigonometričnih mrež na območju Žužemberka. Diplomsko delo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Oven, K. 2022: Trigonometrična točka I. reda na Krimu razglašena za kulturno dediščino. Geodetski vestnik 66-3.
- Oven, K. 2023: Mariborska triangulacijska baza razglašena za kulturno dediščino. Geodetski vestnik 67-4.
- Oven, K., Ritlop, K., Triglav Čekada, M., Pavlovčič Prešeren, P., Sterle, O., Stopar, B. 2019: Vzpostavitev kombinirane geodetske mreže v Sloveniji in analiza njenega delovanja v obdobju 2016–2018. Geodetski vestnik 63-4. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2019.04.491-513>
- Oven, K., Škafar, R. 2022: Trigonometrična točka I. reda na Krimu – pobuda za spomenik državnega pomena. Geodetski vestnik 66-1.
- Oven, K., Škafar, R., Režek, J., Triglav Čekada, M. 2022: Geodetska točka na Krimu. Geodetski utrinki. Ljubljana.
- Širca, N. 2023: Pregled ohranjenosti točk državnih trigonometričnih mrež IV. reda v okolici Postojne. Diplomsko delo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Triglav Čekada, M. 2023: Meje katastrskih občin pod Krimom: po sledih meje med Bistro in Engelshausi iz leta 1726. Geodetski vestnik 67-3. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2023.03.325-342>
- Triglav Čekada, M., Jenko, M. 2020: Načini stabilizacije trigonometričnih točk skozi čas v Sloveniji. Geodetski vestnik 64-4.
- Triglav Čekada, M., Lojk, I., Škafar, R., Stopar, B. 2022a: Značilnosti stabilizacij trigonometričnih točk na Primorskem. Geodetski vestnik 66-2. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2022.02.189-219>
- Triglav Čekada, M., Maver, R., Kogoj, D. 2022: Ohranjenost državnih trigonometričnih mrež na območjih Menišije in Žužemberka. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2021. Ljubljana.
- Triglav Čekada, M., Oven, K., Lutman, M., Škafar, R., Režek, J. 2023: Geodetske točke na Koradi. Geodetski utrinki. Ljubljana.
- Triglav Čekada, M., Oven, K., Radovan, D., Stopar, B., Koler, B., Kogoj, D., Kuhar, M., Lisec, A., Sterle, O., Režek, J. 2021: Stalna geodetska znamenja kot temelj za delovanje geodetske stroke. Geodetski vestnik 65-2.
- Triglav Čekada, M., Oven, K., Škafar, R., Režek, J. 2024: Geodetske točke na Menini planini. Geodetski utrinki. Ljubljana.
- Triglav Čekada, M., Rože, A., Škafar, R. 2022: Mejna znamenja katastrskih občin na Krasu, Matarskem podolju in v Brkinih: med dejstvi in mitologijo. Geodetski vestnik 66-3. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2022.03.367-386>
- Triglav Čekada, M., Rože, A., Škafar, R., Oven, K., Režek, J. 2022b: Geodetske točke v Mitskem parku Rodik. Geodetski utrinki. Ljubljana.
- Zakon o evidentiranju nepremičnin. Uradni list Republike Slovenije 47/2006. Ljubljana.
- Zorjan, M. 2023: Pregled stanja točk državnih trigonometričnih mrež na izbranem območju v okolici Ormoža. Diplomsko delo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Zorn, M., Mikša, P. 2021: Boundary stones and their »hidden« legacy in Slovenia. Hidden Geographies. Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-74590-5_11

- Zorn, M., Mikša, P. 2022: Mejniki na štajersko-ogrski meji: nekaj primerov iz občine Ljutomer in okolice. Kronika 70-3. DOI: <https://doi.org/10.56420/Kronika.70.3.18>
- Žorž, G. 2022: Geodetska izmera rapalske meje, njena digitalizacija in presek s historičnim in aktualnim stanjem zemljiškega katastra. Preteklost in prihodnost, GIS v Sloveniji 16. Ljubljana. DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_20

UPRAVLJANJE PROSTORA NA LOKALNI RAVNI Z UPORABO GEOGRAFSKIH INFORMACIJSKIH SISTEMOV

Branka Brancelj Kular, Marko Premelč

Mestna občina Ljubljana, Mestna uprava, Oddelek za urejanje prostora
branka.brancelj@ljubljanasi.si, marko.premelc@ljubljanasi.si

Vitomir Wolf

Mestna občina Ljubljana, Mestna uprava, Služba za digitalizacijo
vitomir.wolf@ljubljanasi.si

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610508885_04

UDK: 71:659.2:004(497.4Ljubljana)

IZVLEČEK

Upravljanje prostora na lokalni ravni z uporabo geografskih informacijskih sistemov

Geografski informacijski sistemi so uveljavljeno orodje za izvajanje različnih opravil na oddelkih v Mestni upravi Mestne občine Ljubljana. V prispevku je prikazano informacijsko okolje Oddelka za urejanje prostora ter uporaba informacijsko podprtih tehnologij v upravnem delu in razvojnem načrtovanju. Vsi procesi izvajanja opravil so podprti z geoinformacijskimi orodji. Vključujejo vse faze dela od razvojnega načrtovanja, izdelave podrobnih planskih dokumentov do neposrednega izvajanja upravnih nalog. Za te namene so razvite specifične aplikacije.

KLJUČNE BESEDE

geografski informacijski sistemi, javna uprava, aplikacije, URBINFO, PInfo, Ljubljana

ABSTRACT

Local spatial management supported by geographic information systems

Geographic information systems (GIS) are a widely used tool for carrying out various tasks undertaken by different departments of the City administration of the City of Ljubljana. The article deals with the information environment of the Department of Spatial Planning and the use of information technologies to support administrative tasks and development planning. All the processes carried out are supported by GIS. They cover all phases from development planning through the preparation of detailed plans to the direct execution of administrative tasks. Special applications have been developed for these purposes.

KEY WORDS

geographic information systems, public administration, applications, URBINFO, PInfo, Ljubljana

1 Uvod

Mestna občina Ljubljana (MOL) je za izvajanje predpisanih upravnih in razvojnih nalog prostorskega načrtovanja na Oddelku za urejanje prostora vzpostavila podporno informacijsko infrastrukturo. V skladu z Odlokom o organizaciji in delovnem področju Mestne uprave Mestne občine Ljubljana (Odlok ... 2007) opravlja Oddelek za urejanje prostora naslednje naloge: priprava prostorskih planskih in prostorskih izvedbenih aktov, organizacija ter vodenje postopka obravnave in sprejemanja prostorskih planskih in izvedbenih aktov, vključno z javno razgrnitvijo in javno razpravo, spremljanje uresničevanja prostorskega načrta in prostorskih izvedbenih aktov, priprava lokacijskih informacij, priprava urbanističnih programskih rešitev za pomembnejše stavbne in infrastrukturne posege na območju občine, izvedba upravnih nalog ter dajanje informacij in mnenj v povezavi z urejanjem prostora, vzpostavljanje in vzdrževanje prostorskega informacijskega sistema, zbiranje, evidentiranje in analiziranje podatkov o predvideni rabi prostora in posegih v prostor ter vodenje evidence in dokumentacije predpisov in drugih aktov občine, s katerimi se ureja prostor. Posamezne geoinformacijske rešitve, uporabljene v preteklosti, so opisane v prispevku Staniča in sodelavcev (2016).

V tem prispevku je prikazan razvoj uporabe geografskih informacijskih sistemov (GIS-ov) na MOL Oddelku za urejanje prostora od leta 2018 do danes. Namen uporabe in prenove geoinformacijskih rešitev Oddelka za urejanje prostora je podpora učinkovitejšemu delovnemu procesu (slika 1), odločanju in seznanjanju javnosti. Z vse pogostejšim objavljanim različnih podatkov na medmrežju, ki izhaja tako iz zakonskih zavez (na primer Zakona o urejanju prostora (2021), ki opredeljuje tudi objavo prostorskega akta na medmrežju) kot tudi iz vse večje uporabe medmrežja kot vira informacij in podatkov, se povečuje tudi potreba po seznanjanju javnosti s procesi prostorskega načrtovanja ter potekom vodenja postopkov obravnave in sprejemanja prostorskih planskih in izvedbenih aktov na medmrežju. To vključuje tudi prostorske akte, ki niso več v veljavi (arhivski podatki), ter njihovo digitalizacijo.

V nadaljevanju so predstavljene različne geoinformacijske aplikacije, ki ponujajo rešitve za učinkovitejšo opravljanje nalog tako z vidika priprave prostorskih aktov, prostorskega načrtovanja, izvajanja upravnih nalog kot tudi seznanjanja javnosti.

2 Prostorsko informacijske rešitve Oddelka za urejanje prostora

2.1 Sistem za podporo postopka priprave prostorskih planskih aktov (SPPPA)

Prostorski planski akti MOL so prostorski akti, s katerimi se na ravni MOL določijo izhodišča in cilji prostorskega razvoja občine, načrtujejo prostorske ureditve lokalnega pomena ter določijo pogoji umeščanja objektov v prostor. Pri njihovi pripravi se upoštevajo razvojne potrebe občine ter varstvene zahteve in usmeritve iz državnih prostorskih aktov. Občinski prostorski načrt – izvedbeni del (OPN) je podlaga za pripravo projektov za pridobitev gradbenega dovoljenja, razen na območjih, ki se urejajo z občinskimi podrobnimi prostorskimi akti (občinski podrobnejši prostorski načrt (OPPN), lokacijski načrt, zazidalni načrt, ureditveni načrt) ali državnimi prostorskimi načrti (DPN).

Potreba po izdelavi informacijske rešitve za postopek priprave OPN izhaja iz več sprememb in dopolnitev OPN ter velike količine pobud, ki so podane ob vsakokratnem postopku sprememb in dopolnitev prostorskega akta. Zato smo za potrebe sprememb in dopolnitev OPN vpeljali informacijsko modularno rešitev, ki jo lahko ob vsakem začetku novega cikla sprememb in dopolnitev OPN preprosto pripravimo, jo ustrezno prilagodimo oziroma uskladimo na nove zakonodajne zahteve oziroma potrebe. Sama rešitev je sestavljena iz več modulov: vnosni obrazec za sprejem pobude, portal za obravnavo pobud (slika 2), kjer je vključena tudi obdelava takse za posamezno pobudo (preverjanje podatkov,

Slika 1: Shema delovnih procesov MOL Oddelka za urejanje prostora. ► (str. 53)



Slika 2: Prikaz Portala za obravnavo pobud za spremembe in dopolnitve občinskega prostorskega načrta.

uskladitev in obdelava podatkov, izdelava plačilnega naloga, pošiljanje po elektronski pošti oziroma po navadni pošti, obdelava vrnjenih plačil, nadaljnja obdelava), priprava obdelanih pobud na razgrnitev (priprava ustrezne dokumentacije za javnost in Mestni svet občine), portal za obravnavo s podobnimi funkcionalnostmi, kakor prej omenjeni portal pobud in objava podatkov. Prostorska umestitev pobud vseh postopkov sprememb in dopolnitev prostorskega akta je pomembna za boljšo učinkovitost obdelave pobud, za preglednost in podporo odločanju.

2.2 Sistem za podporo postopka priprave prostorskih izvedbenih aktov (ePIA)

Informacijska rešitev je bila izdelana za namen prikaza postopka priprave prostorskih izvedbenih aktov oziroma OPPN ter hitrejšega in preglednejšega vodenja postopka. Omogoča preprosto dodajanje določenih opravil po sklopih samega postopka, ki so: pobuda, osnutek, dopolnjeni osnutek, predlog, usklajeni predlog in objava. Na Oddelku za urejanje prostora hkrati poteka priprava večjega števila OPPN, v povprečju med 70 do 80, kar je povod za izdelavo informacijske rešitve.

OPPN so občinski akti, s katerimi se podrobneje načrtujejo prostorske ureditve, ki jih občine pripravijo za urejanje prostora na svojem ožjem območju. Ti načrti so del širšega prostorskega načrtovanja in urejanja prostora ter določajo, kako se bo uporabljalo ožje območje znotraj občine. OPPN so ključni za urejanje prostora na lokalni ravni, saj zagotavljajo usklajeno rabo zemljišč in omogočajo trajnostno razvojno načrtovanje v občini, kakor tudi napoved proračunskega opremljanja stavbnih zemljišč. Poleg tega pomagajo varovati okolje in kakovost življenja lokalnih skupnosti. Vključujejo določila o namenski rabi zemljišč, oblikovanju objektov, prometni ureditvi, varovanju okolja in drugih vidikih prostorskega načrtovanja. Ustvarjanje OPPN temelji na predpisih, ki določajo postopek priprave, sprejetja in izvajanja OPPN, v skladu z Zakonom o urejanju prostora (2021).

Občina običajno začne proces priprave OPPN na podlagi potrebe po ureditvi določenega območja ali projekta. To vključuje strokovno in javno razpravo ter pridobivanje mnenj in soglasij različnih deležnikov, vključno z lokalnimi prebivalci, lastniki zemljišč, okoljskimi organizacijami in drugimi zainteresiranimi javnostmi. Na koncu procesa priprave OPPN dokument sprejme Mestni svet občine. Uporablja se pri izdaji gradbenih dovoljenj ter pri načrtovanju in izvedbi projektov na območju OPPN.

V ePIA je mogoča prilagoditev postopka priprave OPPN glede na veljavnost predpisov, ki so bili podlaga za njihovo sprejetje. Izdelani so tudi: hitri prikaz stanja postopka, obveščanje po elektronski pošti, povezovanje z dokumentnim sistemom občine, vsebinsko povezovanje z drugimi aplikacijami, izdelava trirazsežne (3R) aplikacije projektov in druge funkcionalnosti.

2.3 Vodenje evidence veljavnih državnih in občinskih prostorskih izvedbenih aktov (tudi arhivskih) (AktiMOL)

AktiMOL je informacijska rešitev za vodenje evidence veljavnih državnih in občinskih prostorskih izvedbenih aktov (tudi arhivskih) ter pripravo formalnopravnega slikovnega in besedilnega prikaza vseh prostorskih izvedbenih aktov za potrebe izdaj lokacijskih informacij, potrdil, mnenj in ostalih dokumentov prostorskega načrtovanja ter za prikaz teh prostorskih podatkov v različnih geoinformacijskih aplikacijah.

Z AktiMOL se iz prostorskih aktov ustvari enotna in celovita baza podatkov za informacijske rešitve, ki se uporabljajo znotraj občine in aplikacijah za potrebe javnosti. Namen priprave enotne in celovite baze prostorskih aktov je preprečiti podvajanje baz prostorskih podatkov in večkratni vnos podatkov ter zagotoviti enotno podporo.

2.4 Prenos in obdelava geoinformacijskih podatkov Geodetske uprave Republike Slovenije (Upravnik GURS)

Informacijska rešitev za prenos in obdelavo geoinformacijskih podatkov Geodetske uprave Republike Slovenije (GURS) ter za shranjevanje v bazno okolje, ki se avtomatizirano izvaja tedensko. Vsak ponedeljek občinski strežnik prevzame podatke s strežnika GURS, jih ustrezno razširi v berljivo obliko, shrani v začasno bazo in izvede še potrebno obdelavo podatkov. Po koncu obdelave jih prepíše v tekočo bazo, ki je dostopna vsem uporabnikom geoinformacijskih storitev.

2.5 Vizualizacija in naprednejša analiza geoprostorskih podatkov v 3R okolju (3R Ljubljana)

3R okolje (slika 3) omogoča vizualizacijo in naprednejše analiziranje geoprostorskih podatkov, na primer 3R modeli površja, zgradb, infrastrukture in drugih elementov. Ob prenovi večine geoprostorskih podatkov, za katere skrbi GURS, je dodana tudi tretja koordinata. Tako lahko večino podatkov Katastra nepremičnin in Katastra gospodarske javne infrastrukture izrišemo v 3R pogledu. Aplikacije 3R pogosto združujejo geoprostorske podatke iz različnih virov, vključno s satelitskimi posnetki, aerofotografijami, terenskimi podatki in modeli CAD, ki bi ustvarili 3R prikaz resničnega sveta. Omogoča tudi analizo prostorskih podatkov, z namenom prenašati informirane odločitve in načrtovati prihodnje aktivnosti. Glede na potrebe uporabnikov, različne aplikacije in programska orodja lahko nudijo različne funkcionalnosti za analizo in vizualizacijo.

Izdelani so temelji za nadaljnje ustvarjanje različnih predstavitev geografskih podatkov v 3R okolju: modeli površja, zgradbe, infrastruktura, 3R meritve, razvoj prometnih omrežij, spremljava naravnih virov, načrtovanje rabe prostora in ocenjevanje vplivov različnih dejavnosti na okolje, odzivi na nujne primere in obvladovanje naravnih nesreč ali izrednih dogodkov (načrtovanje evakuacije, ocenjevanje škode in dodeljevanje virov), navigacijske in lokacijske storitve (upravljanje in vzdrževanje infrastrukturnih sredstev, kot so vodovodni in kanalizacijski sistemi, električna omrežja in prometna



Slika 3: Prikaz pogleda aplikacije 3R Ljubljana.

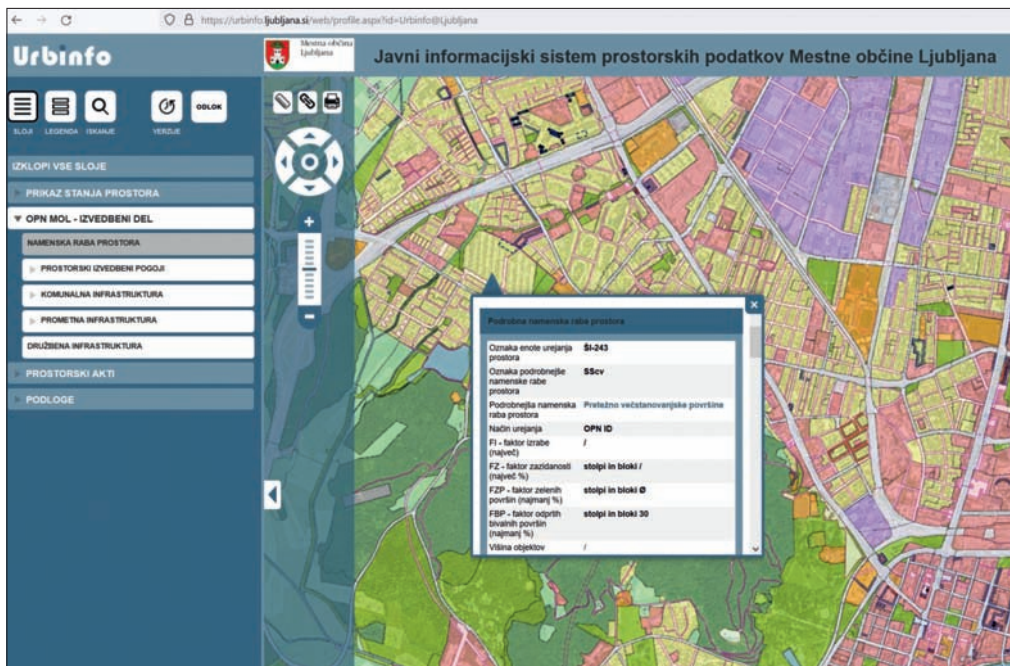
omrežja), sledenje sredstev in načrtovanje vzdrževanja, simulacije in napovedovanje okoljskih sprememb (podnebno modeliranje, modeliranje poplav in analiza ekosistemov).

2.6 URBINFO

URBINFO je javni informacijski sistem prostorskih podatkov MOL (Medmrežje 1; slika 4), ki omogoča vpogled v veljavne in arhivske prostorske akte (državni prostorski akti, OPN s spremembami in dopolnitvami ter občinski podrobni prostorski akti) ter prikaz stanja prostora (poudarek na varstvenih režimih in drugih omejitvah). Z njim uporabniki preprosto in hitro preverjajo pogoje za gradnjo ter prednosti in omejitve na zemljiščih, ki jih zanimajo. Javni dostop do podatkov o prostorskem urejanju in upravljanju je tudi mednarodna zaveza, ki jo je Republika Slovenija ratificirala z Aarhuško konvencijo (Stanič in sodelavci 2016, 179).

2.7 PInfo

PInfo je informacijska rešitev (slika 5), ki je namenjena izdaji dokumentov, ki izhajajo iz upravnih nalog Oddelka za urejanje prostora (na primer lokacijske informacije, urbanistična mnenja, mnenja o skladnosti posega s prostorskimi izvedbenimi akti, projektni pogoji, soglasja). Uporabljena je prilagojena programska oprema Esri ArcGIS Pro z nazivom PInfo. Omogoča pregledovanje izbranega nabora prostorskih podatkov z zbirko orodij po potrebah naročnika (na primer različni iskalci, nabori podatkov iz izbranih vsebin, analitična orodja), samodejno izdelavo predpisanih upravnih dokumentov in prostorsko evidentiranje vseh izdanih dokumentov. Tako nabor prostorskih podatkov kot tudi izdelava modulov za predpisane dokumente sta v PInfo glede na potrebe uporabnika hitro prilagodljiva.



Slika 4: Prikaz aplikacije URBINFO.

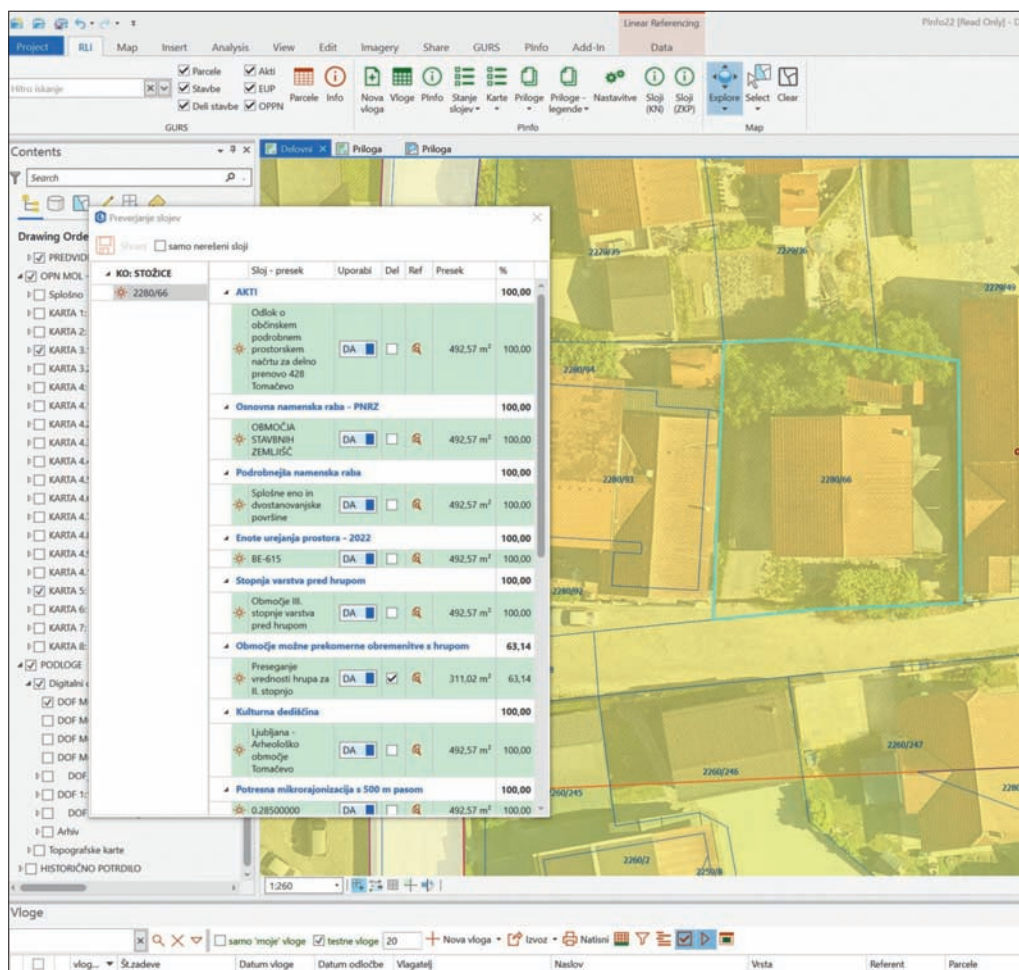
Oddelek za urejanje prostora izvaja tudi upravne naloge: izdaja informacije in mnenja v povezavi z urejanjem prostora, izdaja lokacijske informacije in odgovarja na različna vprašanja strank s področja urejanja prostora. Izboljšava obstoječe uporabe GIS-ov izhaja iz potrebe po bolj samodejni in hitrejši izdelavi dokumentov, digitalizaciji celotnega procesa izvajanja upravnih nalog, digitalizaciji arhivskih podatkov, prostorskem evidentiranju vseh izdanih dokumentov ter iz potrebe po optimizaciji delovanja. S prenovo in nadgraditvijo že izdelanih geoinformacijskih aplikacij smo občutno zmanjšali čas izdaje posameznih dokumentov, izboljšali uporabniško izkušnjo, pridobili celovit prostorski vpogled na izdane dokumente in izboljšali učinkovitost delovanja uporabnikov znotraj organizacije.

Do zdaj smo v PInfo oblikovali 9 osnovnih vsebinskih modulov: Lokacijska informacija (2 osnovna modula), Potrdilo o pogojih za spreminjanje meje parcele, Potrdilo o namenski rabi zemljišča na dan 11. 3. 1993, na dan 20. 7. 2004 in na današnji dan, Projektni pogoji, Mnenje glede skladnosti s prostorskimi akti občine, Soglasje občine glede skladnosti manjše rekonstrukcije s prostorskim aktom, Urbanistično mnenje za oddelke znotraj Mestne uprave (2 osnovna modula). Izpis predpisanega dokumenta, ki je v formatu Word, je lahko različen glede na različne vhodne podatke (na primer veljavnost občinskih prostorskih podrobnih aktov, državnih prostorskih aktov). Tako se v modulu za izdelavo Lokacijske informacije s priloženo prostorski izvedbeni pogoji glede na različen vhodni podatek, ki je opredeljen z veljavnostjo prostorskega izvedbenega akta in z njimi predpisanega načina urejanja, izdelajo 9 vsebinskih različnih lokacijskih informacij.

PInfo povzema podatke o zahtevku stranke iz informacijskega sistema za evidentiranje dokumentov Lotus Notes, kar zmanjša čas ponovnih vnosov vlog v PInfo ter zmanjša tveganje za morebitne človeške napake pri ročnem vnosu vlog. Z orodjem za uvoz vloge se z vpisom številke in določitvijo vrste modula, v masko modula prenese podatek o vlagatelju, naslovu (elektronskem naslovu), katastrski občini in parcelnih številkah iz obravnavane vloge. Podatke v maski se po potrebi dopolni ali spremeni. Če se iz informacijskega sistema za evidentiranje dokumentov Lotus Notes ponovno uvozi vloga

z isto številko zadeve, PInfo ponudi odločitev o prenosu podatkov iz maske vloge, ki je že v bazi podatkov PInfo. V bazi PInfo so prostorsko evidentirani vsi izdani dokumenti, kar je tudi zaradi vizualizacije podatkov koristno orodje za iskanje dokumentov, iskanje že izdanih odločitev ter preprečuje podvajanje odločitev in izdaj dokumentov ter omogoča analizo različnih delovnih procesov. Podatke o izdanih dokumentih se tako lahko išče po različnih kriterijih, hkrati pa je orodje za različne analize.

Sloji podatkov, ki jih PInfo pri določenem modulu preveri, so določeni vnaprej glede na vsebino, ki je zahtevana za določen modul oziroma izpis dokumenta. Odločitev PInfo glede na prekrivanje izbranih slojev s slojem, ki določa lokacijo, se prikaže v maski za preverjanje slojev, tolerance samodejnega odločanja pa so pred nastavljene. V primeru, da gre za odločitve znotraj nastavljenih toleranc, se mora uporabnik sam odločiti o podatku iz sloja. Odločitve so shranjene in ob ponovnem odločanju za isto lokacijo, dostopne in vidne drugemu uporabniku. Ta uporabniška funkcija zmanjša čas ponovnih odločanj, predvsem pa omogoči konsistentno odločanje o podatku iz sloja za vse uporabnike ter poveča učinkovitost delovanja uporabnikov znotraj organizacije. Ko so odločitve o podatkih iz slojev pripravljene, se z ukazom pripravi dokument, ki se ga po potrebi dopolni in na koncu shrani v bazo.



Slika 5: Prikaz aplikacije PInfo.

V modulu za Mnenje glede skladnosti s prostorskimi akti občine je že znotraj maske dodano orodje za preverjanje skladnosti s prostorskimi akti občine, kjer so vpisane vse odločitve glede skladnosti s prostorskim aktom v obravnavani zadevi. Nekateri podatki iz prostorskih aktov so že vnaprej izpisani v maski za preverjanje skladnosti, drugi se dodajo glede na zadevo, ki je obravnavana. Vse odločitve glede skladnosti pa so shranjene v maski, kar zopet omogoča ponovni uvoz vloge z odločitvami v obravnavani zadevi in skrajša reševanje vlog, ki so, s strani vlagatelja zahtevka, dopolnjene.

Cilj posodobitve geoinformacijskih rešitev za namen izvajanja upravnih nalog ter dajanja informacij in mnenj v povezavi z urejanjem prostora (na letni ravni med 6000 in 8000) je dosežen z učinkovitejšim delom službe. Na primer za izdelavo preprostejše lokacijske informacije s priložo prostorski izvedbeni pogoji, ki izpisuje podatke za eno enoto urejanja prostora in nekaj parcelnih števil, se je čas izdelave v povprečju s 30 minut preplovel na 15 minut. Za izdelavo kompleksnejše tovrstne lokacijske informacije s približno 150 parcelami, ki se urejajo v različnih enotah urejanja prostora, se je čas izdelave v povprečju iz tudi 20 ali več ur zmanjšal na 3 do 4 ure. Digitalizacijo in avtomatizacijo izdelave upravnih dokumentov s pomočjo geoinformacijskih rešitev pa je celovito zaključila tudi vse pogostejša uporaba spletnih storitev *eUprave* (e-vloga) ter vzpostavitev digitalnega podpisa dokumentov in elektronskega pošiljanja dokumentov v skladu s predpisi.

Obdelava zahtevkov strank je tako ne zgolj hitrejša (čas izdelave dokumenta, čas tiskanja, čas optičnega branja), temveč tudi varčna in trajnostna, saj se občutno zmanjša količina porabljenega papirja in potrošnega materiala, ki je ocenjena na 70 % zmanjšanje na letni ravni.

3 Sklep

Oddelek za urejanje prostora MOL uvaja uporabo informacijskih rešitev podprtih z GIS-i ne zgolj za namen prostorskega načrtovanja ter priprave prostorskih planskih in prostorskih izvedbenih aktov, temveč sledi tudi cilju, da se z uporabo geoinformacijskih orodij opravi čim več nalog učinkoviteje in pregledneje. Skladno s potrebami uporabnikov znotraj organizacije Mestne uprave kot tudi zainteresirane javnosti ter glede na novosti v zakonodaji, stalno posodabljammo obstoječe informacijske rešitve in ustvarjamo nove (na primer prikaz v 3R okolju bo olajšalo odločitve pri prostorskem načrtovanju).

Cilji uporabe informacijskih rešitev podprtih z GIS-i so doseženi na več načinov, predvsem s samodejno izdelavo dokumentov, prostorskim vpogledom v arhivske prostorske akte, celovitim vpogledom v faze postopka izdelave prostorskih aktov in prikazom v prostoru. Prej analogni postopki upravnih dejanj in načrtovanja prostora se nadomeščajo s celovitimi digitaliziranimi rešitvami, ki na več ravneh omogočajo boljše analizo podatkov, upravljanje s tveganji, podporo odločanju, boljše uporabniško izkušnjo ter nadzor podatkov.

V nadaljnjem razvoju prostorskih informacijskih rešitev je predvidena povezava s prostorskimi sistemi na regionalni in državni ravni (kot sta *e-Plan* in *e-Graditev*). To bo omogočilo boljše povezljivost podatkov, njihovo standardizacijo, dostopnost in uporabnost. S tem stremimo k večji preglednosti in digitalizaciji upravnih postopkov na lokalni, regionalni in državni ravni.

4 Viri in literatura

Medmrežje 1: <https://urbinfo.ljubljana.si/web/profile.aspx?id=Urbinfo@Ljubljana> (5. 2. 2024).

Odlok o organizaciji in delovnem področju Mestne uprave Mestne občine Ljubljana. Uradni list Republike Slovenije 51/2007. Ljubljana.

Stanič, I., Premelč, M., Wolf, V., Zorn, M., 2016: Prostorsko planiranje in upravljanje na lokalni ravni z uporabo tehnologij geografskih informacijskih sistemov. Digitalni prostor, GIS v Sloveniji 13. Ljubljana. DOI: <https://doi.org/10.3986/9789612549305>

Zakon o urejanju prostora. Uradni list Republike Slovenije 199/2021. Ljubljana.

VIRTUALNE TEMATSKE POTI Z LOKACIJSKO OBOGATENO RESNIČNOSTJO – PRIMER MOBILNE APLIKACIJE POLHAR

Jure Pavšek, dr. Blaž Repe, dr. Peter Mikša, Urban Pipan

Univerza v Ljubljani, Filozofska Fakulteta

jurepavsek@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4194-7334>

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

peter.miksa@ff.uni-lj.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8336-0957>

pipanov.urban@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5835-9472>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610508885_05

UDK: 91:004.728.8

629.056.8GPS

IZVLEČEK

Virtualne tematske poti z lokacijsko obogateno resničnostjo – primer mobilne aplikacije PolhAR

Mobilna aplikacija PolhAR je primer vzpostavitve digitaliziranih tematskih poti z uporabo lokacijske obogatene resničnosti. Uporabnik lahko s pomočjo sistema navigacije z obogateno resničnostjo in vgrajenega spletnega zemljevida sledi poteku poti in odkrije posamezne izobraževalne točke. Na lokacijah izobraževalnih točk so v obogateni resničnosti prikazane interaktivne prekrivne grafike, s katerimi lahko dostopa do vsebine. Virtualne tematske poti ne potrebujejo fizične infrastrukture in omogočajo prikaz dinamičnih vsebin. Dodajanje novih in posodabljanje obstoječih poti je hitro in enostavno.

KLJUČNE BESEDE

navigacija z obogateno resničnostjo, spletni zemljevid, Unity, Mapbox, AR + GPS Location

ABSTRACT

Virtual thematic trails with location-based augmented reality – the example of the PolhAR mobile app

The PolhAR mobile app is an example of the establishment of digitalized thematic hiking trails with the help of location-based augmented reality. With the help of an augmented reality navigation system and an embedded online map, users can follow the trail and search for educational points. At these locations, interactive overlay graphics are displayed in augmented reality, allowing users to access the content. Virtual thematic trails require no on-site infrastructure and allow dynamic content to be displayed. Adding new trails and updating existing ones is quick and straightforward.

KEY WORDS

augmented reality navigation, online map, Unity, Mapbox, AR + GPS Location

1 Uvod

Pohodništvo je že vsaj od 19. stoletja močno zasidrano v slovensko kulturo in identiteto (Mikša, Ogrin in Glojek 2017). Skupna dolžina planinskih in sprehajalnih poti v Sloveniji danes presega 15.000 km, med njimi pa čedalje večji delež predstavljajo tematske oz. učne poti, ki obiskovalcem omogočajo celostno izkušnjo, saj poleg rekreacije ponujajo tudi informacije o naravnih in kulturnih znamenitostih v bližini (Prah 2017). Takšnih poti je pri nas že več kot 700 (Galičič, Novinc in Šobar Maslarič 2022).

Klasične tematske poti pomembno doprinešajo k lokalni turistični ponudbi in predstavljajo velik potencial za razvoj trajnostnega turizma, hkrati pa imata njihova vzpostavitve in vzdrževanje pogosto tudi določene slabosti. Številne niso niti ustrezno načrtovane niti nimajo ustrezne infrastrukture. Lahko gre za povsem običajne pohodniške poti, ki so le poimenovane po določeni osebi in sploh niso opremljene z informativnimi tablami oz. so na oznakah zgolj zaporedne številke točk, vsebine pa so predstavljene v različnih spremljavalnih tiskanih publikacijah. Če so na točkah postavljene ustrezne izobraževalne table, pogosto niso redno vzdrževane, zato sčasoma postanejo neuporabne in kvarijo videz pokrajine. Tudi njihovo število in razpoložljiv prostor za vsebino sta omejena (Meyer-Cech 2004; Lebe s sodelavci 2009).

Z digitalizacijo tematskih poti lahko večino teh slabosti odpravimo. Ob vsesplošni in vsakodnevni uporabi pametnih telefonov ter številnih možnostih, ki jih ponujajo, je smiselna rešitev mobilna aplikacija. Namesto klasičnega panoja z označenim potekom poti na zemljevidu lahko vanjo vgradimo po meri izdelan ter konkretnemu območju in predstavljenim vsebinam prilagojen spletni zemljevid, na podlagi podatkov o trenutni lokaciji naprave pa lahko vzpostavimo sistem navigacije in tako nadomestimo klasične smerokaze oz. markacije. Kot alternativa klasičnim informativnim tablam na točkah zanimanja so možnosti vključevanja in prikaza izobraževalnih vsebin v aplikaciji praktično neomejene ter lahko vključujejo tudi različne dinamične oblike, kot so npr. zvočni in video posnetki. Po drugi strani pa je ena glavnih pomanjkljivosti takšnega pristopa predvsem možnost pojavljanja napak pri prikazu virtualnih elementov in določanju lokacije. Zaradi odsotnosti fizičnih označb je potrebno z različnimi oblikami oglaševanja javnost aktivno opozarjati na obstoj virtualnih učnih poti.

V razvoju sodobnih mobilnih aplikacij je čedalje bolj razširjena uporaba obogatene resničnosti (AR, ang. *augmented reality*), tehnologije, ki posnetke dejanske okolice v realnem času dopolni z digitalno ustvarjeno vsebino. Obstaja več različnih načinov za sprožanje prikaza virtualnih prekrivnih elementov, npr. s prepoznavo različnih oblik fizičnih tarč ali pa na podlagi podatkov o lokaciji naprave, tj. lokacijska obogatena resničnost. Uporaba obogatene resničnosti uporabniku omogoča boljše prostorsko predstavo in vizualizacijo različnih predmetov ter enostavnejšo orientacijo v prostoru. Eden najbolj znanih primerov uporabe te tehnologije je mobilna igra Pokémon GO (What are... 2021; History of augmented reality 2022).

Izvirna mobilna aplikacija PolhAR (ime združuje Polhograjsko hribovje in angleško kratico za obogateno resničnost – AR) je primer uporabe lokacijske obogatene resničnosti za prikaz interaktivnih virtualnih prekrivnih grafik na izbranih točkah zanimanja ter za navigacijo po posameznih odsekih tematskih poti v realnem času. Obsega pet novih geografsko-zgodovinskih tematskih poti v Polhograjskem hribovju na območju občine Medvode, katerih potek je označen na vgrajenem po meri izdelanem spletnem zemljevidu. Vsebinsko je prilagojena za različne interesne skupine, uporaba aplikacije pa je preprosta in intuitivna. PolhAR je eden prvih tovrstnih projektov v Sloveniji, pa tudi širše. Predstavlja pomemben doprinos k turistični ponudbi Polhograjskega hribovja in nov ter inovativen pristop k poučevanju geografije in zgodovine. Odpira številne možnosti za nadaljnji razvoj same aplikacije, kot tudi tehnologije obogatene resničnosti nasploh.

2 Uporabljen programski oprema

Aplikacija PolhAR je trenutno na voljo za pametne telefone z operacijskim sistemom Android različice 7.0 ali višje z vgrajeno kamero in sprejemnikom signala GNSS. Zgrajena je v programskem okolju

Unity, ki je sicer primarno namenjeno razvoju video iger za različne platforme, ponuja pa tudi celovit nabor orodij in funkcij za ustvarjanje aplikacij z obogateno resničnostjo, saj omogoča integracijo s potrebnimi ogrodji, kot so ARCore, AR Foundation in Vuforia Engine (Augmented Reality 2024; Getting started ... 2024). Vgrajene funkcionalnosti aplikacije so rezultat lastnih programskih rešitev in uporabe obstoječih razvijalskih kompletov oz. integriranih knjižnic (SDK, ang. *software development kit*), kot sta AR + GPS Location in Mapbox Maps SDK.

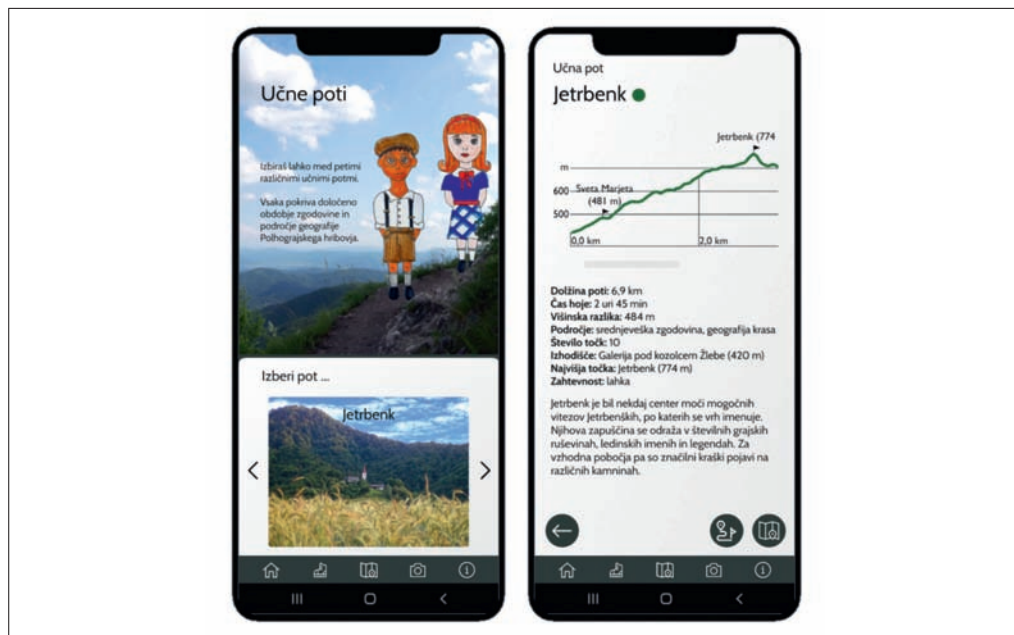
Razvijalski komplet za vgradnjo lokacijske obogatene resničnosti v Unity aplikacije AR + GPS Location ponuja orodja, ki omogočajo prikazovanje virtualnih tridimenzionalnih objektov na dejanskih lokacijah v prostoru na podlagi geografske širine in dolžine. Deluje tako, da združuje podatke GNSS-ja in sledenje z obogateno resničnostjo z uporabo podatkov drugih senzorjev naprave, ki ga omogočata Unityjeva vgrajena razširitev AR Foundation ali dodatna razširitev Vuforia (Fortes 2020). Omogoča tudi vzpostavitev sistema navigacije z obogateno resničnostjo. Za določanje poteka poti aplikacija uporablja Mapbox Directions API (vmesnik za programiranje, ang. *application programming interface*) s prednastavljenimi cilji – lokacijami izobraževalnih točk.

Vgradnjo v Unity aplikacije omogočajo različni ponudniki spletnih zemljevidov, kot so Google, Esri, Microsoft in Mapbox, ki se med seboj razlikujejo po ponudbi in ceni svojih storitev. Za potrebe aplikacije PolhAR se je kot najprimernejši izkazal Mapbox s svojim Mapbox Maps SDK for Unity, kompletom orodij za ustvarjanje Unity aplikacij na podlagi dejanskih kartografskih podatkov. Vključuje orodja za interakcijo s spletnimi storitvami, pretvorbo kartografskih podatkov v t. i. igralne objekte (ang. *game objects*), ki jih uporablja programsko okolje Unity, ter grafični vmesnik (Mapbox Maps SDK for Unity 2024). Na voljo je tudi spletni urejevalnik Mapbox Studio, ki omogoča ustvarjanje novih in prilagajanje obstoječih predlog slogov spletnih zemljevidov ter uvoz lastnih prostorskih podatkov v različnih oblikah (Mapbox Studio 2024). Mapboxove zemljevide v svojih aplikacijah med številnimi drugimi uporabljajo tudi podjetja Strava, Lonley Planet, Snapchat, CNN, SkyScanner, Yahoo!, The New York Times, Washington Post in Booking.com (Customer Showcase 2024).

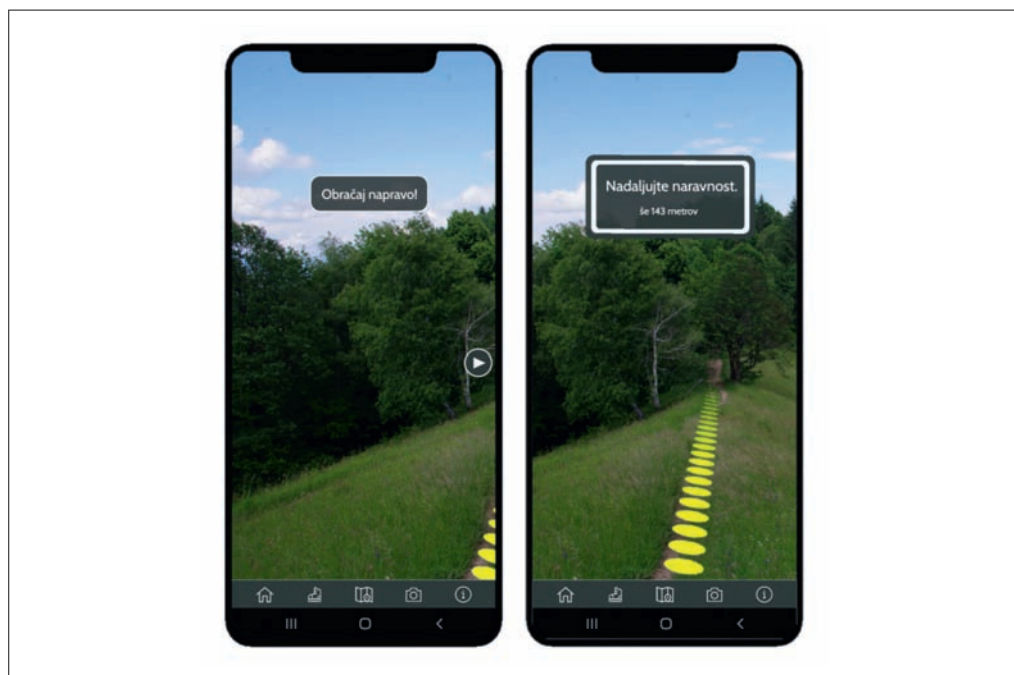
3 Delovanje aplikacije

Po zagonu aplikacije PolhAR se odpre začetni zaslon, ki prikazuje navodila za uporabo. Na dnu je osnovni meni, ki omogoča dostop do petih glavnih oken – začetnega zaslona, menija poti, zemljevida, AR-kamere in informacij o aplikaciji V meniju poti lahko uporabnik izbira med petimi izvirnimi geografsko-zgodovinskimi tematskimi potmi, ki so po vseh zavihkih aplikacije označene vsaka s svojo barvo. Ob dotiku posameznih panelov se odpre okno s kratko predstavitvijo in informacijami o izbrani poti, ki vključuje podatke o dolžini, višinski razliki, času hoje, zahtevnosti, obravnavanih tematikah, številu izobraževalnih točk, izhodišču in najvišji točki. Na voljo je tudi premičen prikaz podolžnega profila poti. Na dnu okna sta gumba, s katerima si lahko uporabnik potek poti ogleda na zemljevidu ali pa zažene navigacijo z obogateno resničnostjo, ki ga vodi do prve izobraževalne točke.

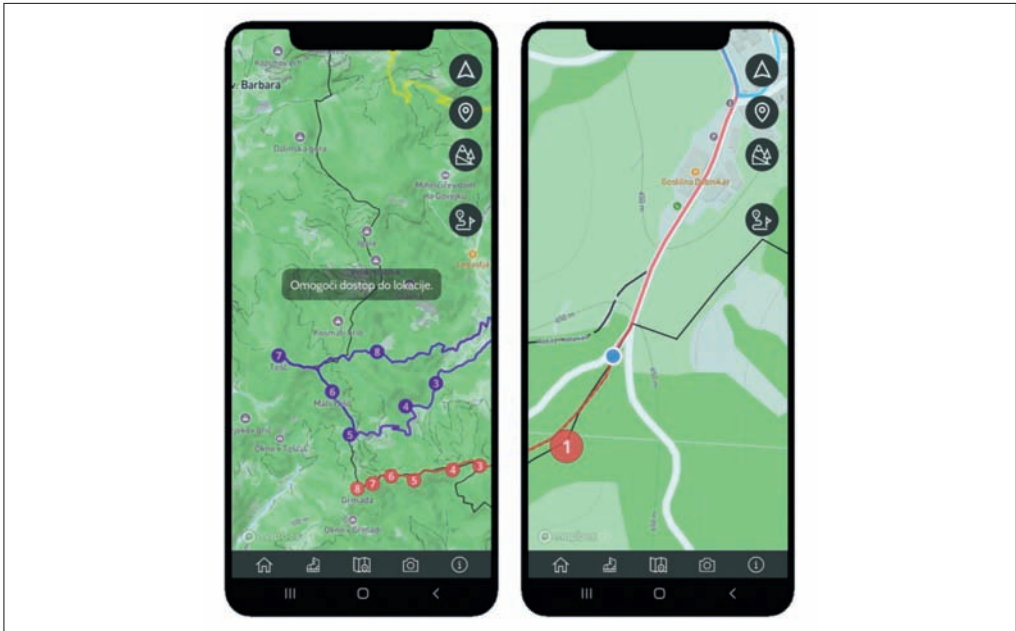
V aplikacijo je vgrajen interaktiven po meri izdelan spletni zemljevid, ki je prilagojen za uporabo v pohodništvu. Osnova zanj je že obstoječa Mapboxova predloga Outdoors, ki temelji na podatkih odprtokodnega spletnega zemljevida OpenStreetMap. Vključuje širok nabor cest in pohodniških poti ter informacij o vrhovih. Podatki o nadmorski višini in pokrovnosti tal izvirajo od različnih ponudnikov in so na zemljevidu prikazani z reliefnim senčenjem, plastnicami in različnimi barvnimi simboli. Slog vključuje tudi točkovne sloje, ki poleg vrhov vključujejo tudi znamenitosti, gostinske in nastanitvene obrate, pitnike, zdravstvene ustanove in drugo relevantno pohodniško infrastrukturo (Mapbox Outdoors 2024). Na zemljevidu je označen potek vzpostavljenih tematskih poti, vključno z lokacijami izobraževalnih točk. Omogoča približevanje in oddaljevanje pogleda, ob čemer se spreminja tudi njegova podrobnost, poljubno premikanje in rotacijo. Na zemljevidu je v realnem času označena tudi trenutna lokacija naprave, ki jo aplikacija izračuna iz podatkov različnih senzorjev in omogoča sledenje poteku



Slika 1: Meni za izbiro tematske poti (levo) in primer okna s predstavitvijo poti (desno).



Slika 2: Delovanje vgrajene navigacije z obogateno resničnostjo.



Slika 3: Vgrajen interaktivni spletni zemljevid z onemogočenim GNSS (levo) in z omogočenim dinamičnim prikazom trenutne lokacije z označevalnikom (desno).

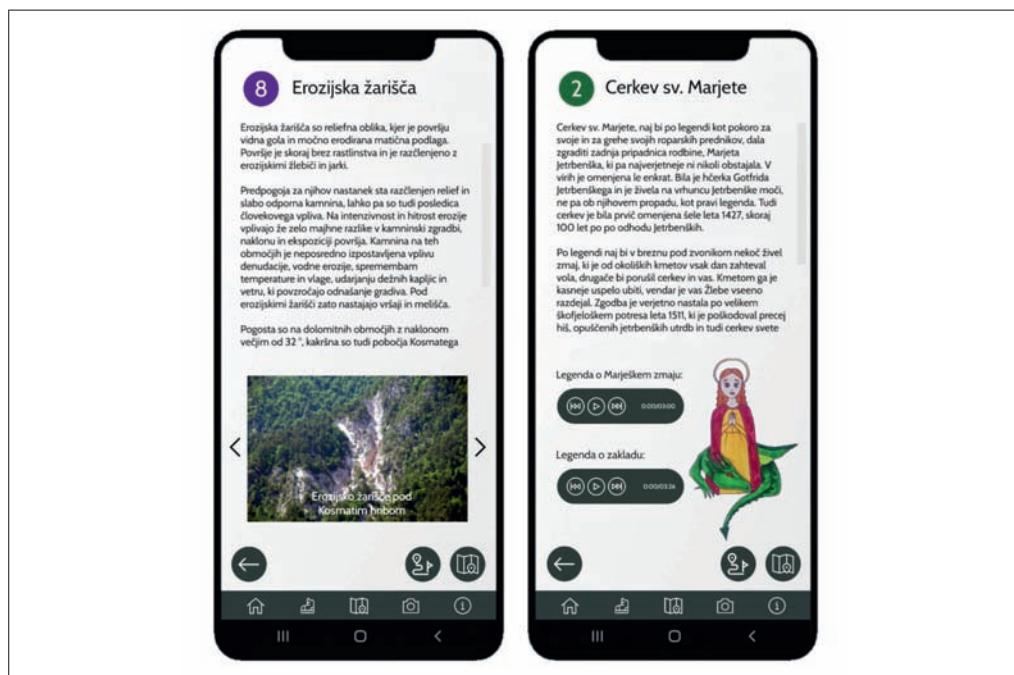


Slika 4: Uporaba lokacijske obogatene resničnosti za prikaz virtualnih interaktivnih prekrivnih grafik na lokacijah izobraževalnih točk.

poti in iskanje izobraževalnih točk. Zemljevid lahko uporabnik s pritiskom na gumb kadarkoli osredini na svojo trenutno lokacijo ali ponastavi nazaj na privzeti prikaz, ki je osredinjen na severovzhodno Polhograjsko hribovje.

Kartografski prikaz dopolnjuje sistem navigacije z obogateno resničnostjo, ki v realnem času omogoča dinamično določanje najboljše poti z uporabo Mapbox Directions API-ja (Fortes 2020). Kot cilji so bile predhodno vnesene lokacije izobraževalnih točk. Na podlagi njihovih koordinat in trenutne lokacije naprave se sproži zahtevek na API, ki v formatu JSON vrne podatke o priporočeni poti (to so geometrija oz. koordinate poti, razdalja, trajanje in navodila po korakih). Aplikacija odgovor obdela in filtrira potrebne informacije, nato pa samodejno ustvari potrebne virtualne komponente za vizualen prikaz navodil. Na posnetku okolice se na tleh vzdolž prave poti izriše in sproti posodobljiva animiran smerokaz, ki kaže proti naslednjemu oglišču, nad njim pa se pojavi virtualna tabla z dinamičnimi pisnimi navodili za naslednji korak in podatkom o trenutni oddaljenosti od naslednjega križišča. Podatki o omrežju cest in pešpoti temeljijo na spletni bazi OpenStreetMap, kar omogoča natančno navigacijo do naslednje točke tudi v primeru, ko uporabnik skrene s predvidene poti, saj se navodila samodejno posodobijo. Kadar je prava pot povsem izven vidnega polja kamere, smerokaz in tabla z navodili nista prikazana, se pa na ustreznem robu zaslona pojavi puščica, ki uporabniku sporoča, kam naj usmeri svojo napravo. Za pravilno delovanje navigacije z obogateno resničnostjo in interaktivnega spletnega zemljevida mora biti aplikaciji PolhAR omogočen dostop do spleta in lokacijskih storitev. Podatki o uporabnikovi lokaciji se ne shranjujejo in do njih ni mogoče dostopati.

Ko je uporabnik v bližini izobraževalne točke, ga naprava z vibriranjem opozori, da lahko odpre zavihek AR-kamera. Aplikacija izračuna razdaljo med napravo in predhodno nastavljenimi koordinatami točke ter sproži prikaz virtualne interaktivne prekrivne grafike na posnetku okolice, če je razdalja manjša od določenega aktivacijskega radija. Uporabnik grafiko poišče tako, da kamero naprave usmeri v središče aktivacijskega polja, kar aplikacija določa s pomočjo različnih senzorjev, kot so GNSS, merilnik



Slika 5: Primera oken z dinamično izobraževalno vsebino.

pospeška, magnetometer in žiroskop. Izgled grafik se razlikuje od točke do točke in upodabljajo dečka Jakoba in dekllico Marjeto, lika iz krajevnih legend. Ko uporabnik ni več v aktivacijskem polju, prikaz ponovno izgine.

Ob dotiku grafike se odpre okno z izobraževalno vsebino. Na takšen način so nadomeščene klasične informativne table, aplikacija pa omogoča tudi vključevanje različnih dinamičnih vsebin, kot so zvočni in video posnetki. Uporabnik lahko besedilo po potrebi prestavlja nižje po zaslonu in izbira med različnimi prikazanimi fotografijami, kar omogoča vključevanje poljubnih količin različnih informacij in odpravlja prostorske omejitve fizičnih tabel. Na dnu okna so gumbi, ki omogočajo vrnitev na prikaz interaktivne prekrivne grafike v prostoru, navigacijo do naslednje izobraževalne točke in ogled nadaljnje poti na zemljevidu.

V zavihku Informacije, ki je v osnovnem meniju skrajno desno, so na voljo dodatne informacije o projektu PolhAR in predstavljeni razvijalci aplikacije.

4 Prednosti, omejitve in nadaljnji razvoj aplikacije

Aplikacija je na voljo brezplačno, njena uporaba pa je preprosta in intuitivna. Prikaz interaktivnih prekrivnih grafik v obogateni resničnosti vnaša element igrifikacije, s čimer je PolhAR še bolj privlačen in zanimiv. Vsebina je prilagajena uporabnikom različnih starostnih skupin in z različnimi stopnjami predznanja, zato je primerna tako za rekreativne dnevne obiskovalce območja, kot tudi za organizirano rabo npr. pri pouku geografije in zgodovine. Projekt predstavlja pomembno popestritev turistične ponudbe v Polhograjskem hribovju ter doprinaša k promociji in širši prepoznavnosti območja.

Aplikacija PolhAR z digitalizacijo in uporabo lokacijske obogatene resničnosti odpravlja številne pomanjkljivosti klasičnih učnih poti. Informativne table so nadomeščene z interaktivnimi prekrivnimi grafikami, do katerih je mogoče dostopati na poljubnem številu vnaprej določenih točk. Fizične oznake niso potrebne, saj je prikaz sprožen samodejno in je vezan na lokacijo naprave. Virtualne prekrivne grafike omogočajo dostop do oken z izobraževalno vsebino, ki količinsko ni omejena. Vključiti je možno tudi različne dinamične oblike, kot so zvočni in video posnetki. Spreminjanje obstoječe vsebine in dodajanje novih izobraževalnih točk je hitro, enostavno in cenovno ugodno, stroški vzdrževanja tematskih poti pa so minimalni, saj fizično vzdrževanje ni potrebno.

Navigacija z obogateno resničnostjo nadomešča fizične smerokaze in markacije ter omogoča enostavno orientacijo v prostoru zgolj z osnovno kartografsko pismenostjo in splošnimi veščinami uporabe pametnih telefonov. Navodila za pot so podana v slovenščini, pravilna smer pa je označena tudi z animiranimi virtualnimi oznakami. Funkcija je uporabna tudi v primeru, kadar potek poti na terenu ni dobro viden, saj je prava smer določena s senzorji naprave. Med najbolj znanimi ponudniki navigacije z obogateno resničnostjo sta sicer podjetji Google s funkcijo Live View, ki deluje le na območjih, na katerih je dostopna storitev Street View, ter Apple s storitvijo AR Walking Directions, ki je trenutno na voljo le v približno 150 večjih mestih po vsem svetu (Zibreg 2023; Warren 2024). Nasprotno AR-navigacija, vgrajena v aplikacijo PolhAR, deluje kjerkoli, saj navodila temeljijo na podatkih odprtokodne spletne baze OpenStreetMap, ki se redno posodablja in dodaja nove poti. Slabost takšne rešitve je predvsem v tem, da lahko pri grafičnem prikazu ustrezne smeri prihaja do določenih odstopanj v natančnosti, saj je ta odvisen zgolj od delovanja senzorjev naprave in ni dopolnjen z uporabo tehnologije računalniškega vida. Omeniti je potrebno tudi dejstvo, da so lahko samodejno ustvarjena navodila za pot slovnično in slogovno nepravilna, saj njihov slovenski prevod na Mapbox Directions API-ju ni najustreznejši.

Vgrajen po meri izdelan spletni zemljevid je prilagojen prav za potrebe aplikacije. Na njem je poudarjena bistvena pohodniška infrastruktura, lokacije izobraževalnih točk in trase tematskih poti. Prikaz trenutne lokacije naprave dopolnjuje sistem AR-navigacije in skrbi, da lahko uporabnik najde željene točke. Omogočeno je poljubno približevanje, premikanje in rotiranje prikaza, kar zagotavlja možnost

upravljanja s podrobnostjo zemljevida in preglednost na različnih stopnjah približanja. Vseeno pa so trenutno vgrajene funkcionalnosti razmeroma osnovne in ne vključujejo naprednejših možnosti, kot je npr. interakcija s simboli na zemljevidu, prilagajanje sloga ali pa prenos za uporabo brez delujoče povezave s spletom. V prihodnosti bi bilo smiselno delovanje vgrajenega spletnega zemljevida dodatno razširiti.

Programska struktura aplikacije je precej preprosta in ne shranjuje nobenih podatkov. Nadaljnji razvoj bo najverjetneje stremel k vključitvi možnosti beleženja zgodovine najdenih izobraževalnih točk in časa, ki ga je uporabnik porabil za določen vzpon. Nadalje z morebitno vpeljavo uporabniških računov napredek uporabnika ne bi bil več vezan na napravo, številne možnosti za nadaljnji razvoj pa so tudi na področju interakcije z drugimi uporabniki v okviru aplikacije in dodatni avtomatizaciji določenih procesov. Možnosti za prihodnji razvoj so teoretično skoraj neomejene, v praksi pa so odvisne predvsem od razpoložljivih sredstev, znanja razvijalcev in časovnih okvirjev. Trenutno vidimo največji potencial za širitev ponudbe aplikacije z vključitvijo dodatnih virtualnih tematskih poti, kar je dokaj preprosto. PolhAR ponuja tudi priložnost za hitro in enostavno digitalizacijo že obstoječih klasičnih učnih in tematskih poti oz. dostopno platformo za načrtovanje novih, tudi takšnih z negeografsko in nezgodovinsko vsebino ter širitev njihovega nabora na območja izven Polhograjskega hribovja. Tudi tukaj so možnosti skoraj neomejene.

5 Sklep

Tematske poti so danes tudi v Sloveniji vedno pogostejše in čedalje bolj priljubljene, vseeno pa jih v klasični obliki spremljajo določene pomanjkljivosti. Aplikacija PolhAR z vključevanjem tehnologije obogatene resničnosti predstavlja alternativo smerokazom, markacijam, informativnim tablam, zemljevidom v fizični obliki in raznoraznim tiskanim publikacijam, ki skupaj tvorijo klasične tematske poti. Uporabnike vodi z inovativno obliko navigacije z obogateno resničnostjo in na zanimiv način predstavlja krajevne geografske in zgodovinske značilnosti Polhograjskega hribovja. Aplikacija je primerna za vsakogar, edini pogoj je pametni telefon z delujočo kamero, ustreznimi senzorji (GNSS, merilnik pospeškov, žiroskop, magnetometer) in povezavo s spletom. Zaradi svoje izvirnosti in priročnosti PolhAR predstavlja pomemben doprinos k lokalni turistični ponudbi, prepoznavnosti in promociji območja, hkrati pa ponuja enostavno in ugodno priložnost za vzpostavljanje novih in digitalizacijo obstoječih poti tudi drugod.

Virtualne tematske poti in obogatena resničnost so gotovo področja, ki so v slovenski geografiji, zgodovini in turizmu nasploh še vedno zelo skromno prisotna. Ker imajo v primerjavi s klasičnimi kar nekaj prednosti, ima takšen pristop velik potencial za nadaljnje izboljšave in širjenje še na druga območja. Zaradi sicer čedalje širše uporabe pametnih telefonov ter priljubljenosti virtualnih vsebin in obogatene resničnosti je škoda, da se ta tehnologija tako malo izkorišča v izobraževalne namene. Aplikacija PolhAR je eden prvih korakov v tej smeri, avtorji pa si želimo in upamo, da bo uspešno »prebila led« ter da bomo v prihodnosti prijetno presenečeni, kaj vse se še da narediti.



Slika 6: QR-koda za prenos aplikacije PolhAR.

6 Viri in literatura

- Augmented reality. Medmrežje: <https://unity.com/unity/features/ar> (8. 2. 2024).
- Customer Showcase. Medmrežje: <https://www.mapbox.com/showcase> (8. 2. 2024).
- Fortes, D. 2020: Unity AR+GPS Location Docs (v3.6.0). Medmrežje: <https://docs.unity-ar-gps-location.com/> (8. 2. 2024).
- Galičič, J., Novinc, D., Šobar Maslarič, I. H., 2022. Delovna verzija: Strategija razvoja turizma v občini Medvode za obdobje 2022-2026. Medvode.
- Getting started with Vuforia Engine in Unity. Medmrežje: <https://developer.vuforia.com/library/getting-started/getting-started-vuforia-engine-unity> (8. 2. 2024).
- History of augmented reality, 2022. Medmrežje: <https://svarmony.com/blog/history-of-ar/> (8. 2. 2024).
- Lebe, S. S., Milfelner, B., Gačnik, A., Pestotnik, D., Zalokar, T., Blažič, P. 2009. Strategija razvoja kulturnega turizma na Slovenskem. Maribor.
- Mapbox Maps SDK for Unity. Medmrežje: <https://docs.mapbox.com/help/glossary/mapbox-maps-sdk-for-unity/> (8. 2. 2024).
- Mapbox Outdoors. Medmrežje: <https://www.mapbox.com/maps/outdoors> (8. 2. 2024).
- Mapbox Studio. Medmrežje: <https://docs.mapbox.com/studio-manual/guides/> (8. 2. 2024).
- Meyer-Cech, K. 2004: Theme trails and sustainable rural tourism – opportunities and threats. Sustainable tourism, Ashurst.
- Mikša, P., Ogrin, M., Glojek, K. 2017: Od kod gorska identiteta Slovencev? Geografski obzornik 64-3,4.
- Prah, J. 2017: Tematske poti. Pohodništvo v Sloveniji. Ljubljana.
- Warren, M. AR for Navigation – What You Should Know. Medmrežje: <https://www.bairesdev.com/blog/ar-for-navigation-what-you-should-know/> (8. 2. 2024).
- What are the different types of Augmented Reality?, 2021. Medmrežje: <https://blog.softtek.com/en/what-are-the-different-types-of-augmented-reality> (8. 2. 2024).
- Zibreg, C. 2023: How to use augmented reality walking directions in Apple Maps on your iPhone. Medmrežje: <https://www.idownloadblog.com/2023/08/07/apple-maps-ar-walking-directions-tutorial/> (8. 2. 2024)

UPORABA SATELITSKE INTERFEROMETRIJE INSAR ZA SPREMLJAVO PREMICOV KOMPLEKSNEGA PLAZOVITEGA OBMOČJA NA REBRNICAH VZDOLŽ HITRE CESTE RAZDRTO-VIPAVA

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>

Galena Debevec Jordanova

Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo; Univerza v Trstu, Oddelek za matematiko, informatiko in geoznanosti
galena.debevecjordanova@units.it, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0499-8395>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610508885_06

UDK: 551.435.62(497.47)

528.8(497.47)

IZVLEČEK

Uporaba satelitske interferometrije InSAR za spremljavo premikov kompleksnega plazovitega območja na Rebrnicah vzdolž hitre ceste Razdrto-Vipava

Hitra cesta H4 Razdrto-Vipava poteka po problematičnem ozemlju, ki je podvržen različnim tipom plazjenja. Širše območje Rebrnic je sestavljeno iz mezozojskih karbonatov, ki so narinjeni preko paleocenskega in eocenskega fliša, posledica te zgradbe pa so velike debeline gruščev in breč, ki plazijo, poleg tega pa je problematična tudi preperina fliša. Hitra cesta seka več plazov, katerih premike smo preučili z metodo satelitske interferometrije. Rezultati tako originalnih kalibriranih podatkov kot tudi interpoliranih podatkov vzdolž hitre ceste kažejo na zelo dobro povezavo med območji plazov in premiki, kar dokazuje aktivnost plazov, kljub njihovi različni geološki sestavi. Uporabnost podatkov spuščajoče se orbite je zaradi usmerjenosti pobočij proti JZ večja kot za dvigajočo se orbito.

KLJUČNE BESEDE

plazovi, InSAR, hitra cesta H4, Razdrto, Vipava, Slovenija

ABSTRACT

Use of satellite interferometry InSAR for monitoring of movements of complex landslide-prone area of Rebrnice along the Razdrto-Vipava highway, SW Slovenia

The H4 Razdrto-Vipava highway runs through a problematic region prone to various types of mass movements. The Rebrnice area consists of Mesozoic carbonates which are thrust over younger flysch. The result of this structure is large thicknesses of scree and breccias subjected to landslides and creep, and the weathered flysch also poses a problem. The highway crosses several landslides whose movements were studied using satellite interferometry. The results of the original calibrated and interpolated data along the highway show a very good correlation between the landslide areas and the displacements, which confirms the activity of the landslides. The suitability of the data from the descending orbit is greater than that of the ascending orbit due to the SW orientation of the slopes.

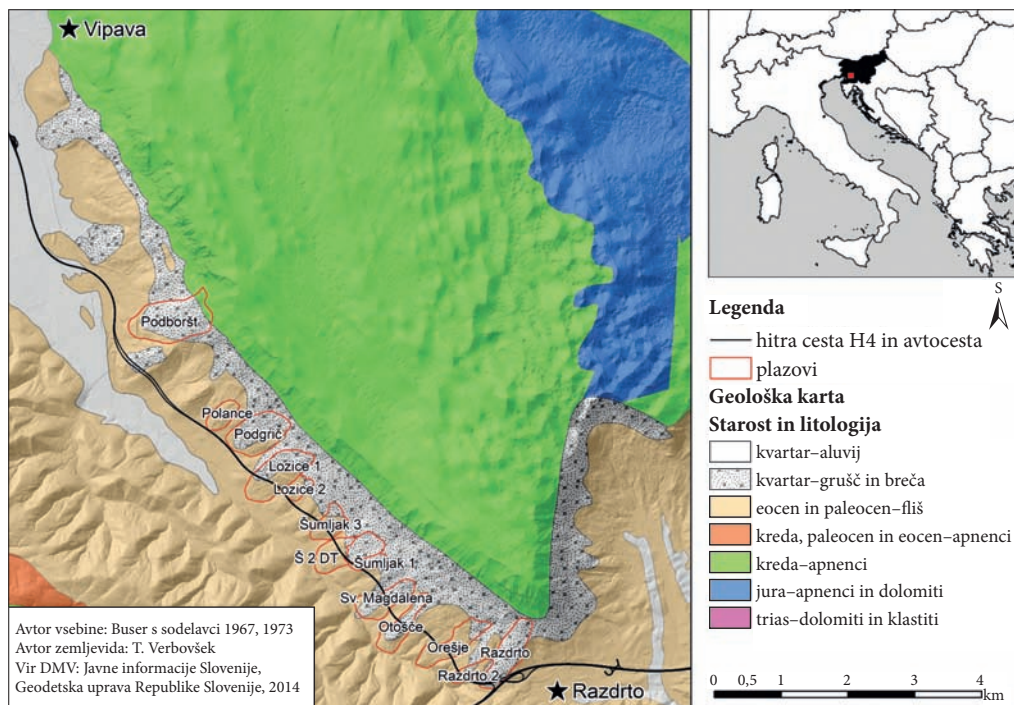
KEY WORDS

landslides, InSAR, highway H4, Razdrto, Vipava, Slovenia

1 Uvod

Hitra cesta H4 Razdrto-Vipava, ki poteka skozi območje Rebrnic v Vipavski dolini, je speljana po ozemlju, ki je bil oz. je še podvržen različnim tipom plazenja – fosilnih kamninskim plazovom, padanju skal in kamenja, drobirskim tokovom in zemeljskim plazovom. Ponekod je prihajalo tudi do več različnih tipov plazenja na istih območjih (npr. drobirskega toka in kamninskega plazua, v vrhnjem delu pa še danes na te nanose pada nevezan in posledično labilen karbonatni grušč) in njihovim kombinacijam, večji del območja pa je izpostavljen tudi lezenju (Jež 2007; Zorn in Komac 2008; Popit in Košir 2010; Kočevar 2011; Ribičič 2014; Popit 2016; Jemec Auflič s sodelavci 2017). Razlog za plazenje je kompleksna geološka zgradba ozemlja, ki je bila preučevana (Jež 2007; Popit in Košir 2010;) že pred izgradnjo same hitre ceste (ta je bila v gradnji med letoma 2002 in 2009). Preučevano območje je na območju zgornje Vipavske doline, kjer so triasni, jurski in kredni karbonati (predvsem apnenici) narinjeni preko paleocenskega in eocenskega fliša, ki je zastopan z menjavanjem peščenjakov in laporovcev (Habič 1968; Janež s sodelavci 1997; Buser s sodelavci 1967; 1973). Ozemlje tektonsko pripada Zunanjim Dinaridom (Placer 1981; 2008), tektonske faze pa so povzročile intenzivno razpokanje karbonatov. Zaradi narinjanja je relief morfološko zelo razgiban in razpokani karbonati tvorijo strma pobočja, iz katerih nastajajo aktivna karbonatna melišča, ki se kot grušč odlagajo na preperel fliš. Debelina gruščev se giblje od nekaj metrov do skoraj 50 m, in ti sedimenti predstavljajo največjo težavo glede plazenja zaradi svoje precejšnje debeline, poleg tega pa plazi oz. leze tudi preperina fliša (Mikoš, Petkovšek in Majes 2009; Petkovšek s sodelavci 2013), ki je na tem območju lahko debela tudi do 4 m (Ribičič 2014).

Preko teh sedimentov in preperine je zgrajena državna hitra cesta H4, ki na Rebrnicah prečka več kot 10 večjih plazov (Popit 2016) s površinami od 10 do 65 ha, ki si sledijo od Razdrtega proti Vipavi



Slika 1: Splošna geološka zgradba ozemlja, poenostavljeno po Osnovni geološki karti 1:100.000, lista Gorica (zahodni del karte) in Postojna (vzhodni del karte) (Buser s sodelavci 1967; 1973).

v naslednjem vrstnem redu: Razdrto, Orešje, Otošče, Sv. Magdalena, Šumljak, Lozice, Podgrič, Polance in Podboršt. Nekateri od teh plazov so interno razdeljeni tudi na manjše plazove, npr. Šumljak 1, 2 in 3 ter Lozice 1 in 2 (Popit 2016). Plazove na območju Rebrnic so preučevali številni avtorji, tako v splošnih pregledih problematike plazenja na Rebrnicah (Jež, Popit in Maček 2017; Placer 2007; Ribičič 2014; Popit, Kokalj in Verbovšek 2011; Popit s sodelavci 2014a; 2014b; 2016; 2022; Jemec Auflič s sodelavci 2017; Verbovšek in Popit 2018; Verbovšek, Popit in Kokalj 2019; Debevec Jordanova in Verbovšek 2023) in tudi specifično za posamezne plazove, npr. za plaz Sv. Magdalena (Popit in Verbovšek 2013), plaz Lozice (Novak, Verbovšek in Popit 2017) in plaz Šumljak (Popit 2017). Nekaj od slednjih pregledov del je objavljenih kot diplomska dela (Ulamec 2009; Žakelj 2009).

2 Metode dela

Za analizo premikov površja smo uporabili podatke satelitov Sentinel 1-A in 1-B, ki sta bila lansirana v sklopu programa Evropske unije Copernicus, namenjenega visoko kakovostnemu opazovanju našega planeta. Med storitvami tega programa je na voljo tudi javno dostopni portal European Ground Motion Service EGMS (Medmrežje 1; Crosetto s sodelavci 2021; Costantini s sodelavci 2021), ki omogoča pregled in dostop do podatkov meritev satelitske interferometrije InSAR z omenjenima satelitoma (Ferretti, Prati in Rocca 2001; Oštir 2006; Ferretti 2014). Ti podatki so izredno uporabni pri spremljavi geoloških procesov, npr. erozije, tektonskih premikov, vulkanskih sprememb površja, pa tudi pri analizah poplav, antropogenih sprememb, npr. rudarjenja, posedanja površja zaradi črpanja podzemne vode oz. kateregakoli vplivnega dejavnika, ki povzroči spremembe samega površja. V zadnjem času se uporabljajo čedalje več tudi v Sloveniji za preučevanje plazov (Debevec Jordanova s sodelavci 2021; 2022; 2023; Jemec Auflič s sodelavci 2023).

Pri analizi smo uporabili kalibrirane točkovne podatke (angl. »Calibrated product«) dvigajoče se orbite (angl. *ascending*, v nadaljevanju ASC, kjer satelit meri med premikanjem od južnega pola proti severnemu) in spuščajoče se orbite (angl. *descending*, v nadaljevanju DSC, kjer satelit meri med premikanjem od severnega pola proti južnemu), ki so na voljo v prostorski mreži 5×20 m. Portal omogoča izvoz in pregled tudi preračunanih »Orto« podatkov (angl. »Ortho product«). Ti podatki za razliko od kalibriranih nudijo dodatne komponente premikov; premiki kalibriranih podatkov (ASC in DSC) so namreč izvorno merjeni v smeri potovanja satelita (LOS), torej pod določenim kotom na površje. Podatki »orto« pa so iz slednjih preračunani tako, da sta na voljo komponenta v vertikalni smeri pravokotno na površje (angl. U–D oz. up–down) ter komponenta v smeri vzhod–zahod. Oba sloja »orto« podatkov sta ob tem revzorčena na mrežo 100×100 m, da sovpadata z drugimi izdelki Copernicus (Capes in Passera 2023). Zaradi lažje interpretacije pomikov v navpični smeri so ti podatki precej bolj primerni za interpretacijo posedanja ozemlja, kot je npr. posedanje Ljubljanskega Barja (Verbovšek in Brenčič 2023), izvorni oz. kalibrirani podatki pa so bolj primerni za interpretacijo zaradi svoje večje prostorske ločljivosti in posledično večjega števila točk, ki jih lahko uporabimo pri interpretaciji. Premikov v smeri sever–jug (angl. N–S) pa večinoma ne moremo določiti, saj satelit potuje približno v tej smeri tako pri obeh orbitah (kot opisano zgoraj) in posledično podatkov v tej smeri snemanja ne more zajeti. Časovni razpon podatkov, ki smo ga uporabili, je od februarja 2015 do konca leta 2021, premiki pa so podani kot povprečje vseh premikov merjenih točk v tem obdobju in imajo posledično enoto mm/leto. Poleg omenjenih omejitev pri določitvi premikov le v smeri LOS je dodatna slabost InSAR metode tudi slaba uporabnost oz. celo neuporabnost na območjih z vodo ali vegetacijo, saj se mora radarski žarek odbiti od površine na Zemlji, da se vrne do satelita, ki odboj zazna. Zato je hitra cesta relativno dobro »pokrita« s točkovnimi podatki, medtem ko so okoliška pobočja skorajda brez podatkov zaradi velike poraščenosti. Ker je gostota interpoliranih »orto« podatkov precej majhna in ne zadošča za kvalitetno interpolacijo, smo uporabili le kalibrirane podatke dvigajoče in spuščajoče se orbite.

Ti točkovni podatki v 30 m pasu okoli linije hitre ceste so bili nato interpolirani z metodo krigiranja v nov podatkovni poligonski sloj. Ta razdalja je bila izbrana kot kompromis med najmanjšo razdaljo, pri kateri so točke v neposredni bližini hitre ceste še zajete v interpolacijo ter dejstva, da bo poligonski sloj okoli hitre ceste še viden na sliki, ter med razdaljo, pri kateri izvirne točke sipalcev ne bodo zajete predaleč od hitre ceste, tako da se bo interpretacija nanašala na ozemlje, relevantno na hitro cesto. Metoda krigiranja je bila izbrana v primerjavi z drugo metodo interpolacije IDW (metode interpolacije z inverzno razdaljo, angl. Bull's eye effect) – koncentrična območja enake vrednosti točk (Medmrežje 2). Sloja sta bila izdelana ločeno za dvigajočo (ASC) se in spuščajočo se (DSC) orbito. Sicer so izvorni podatki kalibriranih podatkov podani v prostorski mreži 5×20 m, toda gostota točk je ponekod precej večja kot samo ena točka v celici s to velikostjo. Razloga sta dva: prvi je ta, da so pri tej analizi vključeni podatki več preletov in je zato število točk večje, poleg tega pa pri močnejših radarskih odbojih prihaja do efekta »nadzorčenja« (angl. oversampling), da podatki ene celice lahko vplivajo tudi na sosednje in je tako na voljo več podatkov (natančnejše je to razloženo v tehničnem poročilu EGMS; Ferretti, Passera in Capes, 2023). Rezultati so prikazani ločeno za ti orbiti na slikah 2 in 3 za izvirne točkovne podatke ter na slikah 4 in 5 za interpolirane podatke. Interpolirana poligonska sloja sta bila v nadaljevanju uporabljena za izdelavo vzdolžnega prereza po trasi hitre ceste, kjer so zvezno prikazani premiki površja na horizontalni razdalji vzorčenih točk na približno 10 m. S tem sta bila narejena ločena prereza za ASC in DSC podatke (slika 6), ki sta s prekritjem karte plazov služila za interpretacijo premikov. Izhodišče interpoliranega prereza (točka 0) je na hitri cesti pri Vipavi in vrednosti stacionaže naraščajo proti Razdrtem.

3 Rezultati in razprava

Rezultati kažejo na precejšnje razlike v premikih vzdolž hitre ceste. Precej je »šuma« oz. hitro se spreminjajočih podatkov na kratkih razdaljah, ki jih je težko razložiti z geološko zgradbo ali antropogenimi vplivi, in te hitre spremembe nastanejo zaradi majhnih razlik med posameznimi točkami vzdolž hitre ceste, ki so interpolirane na kratke razdalje. Ne glede na to pa je očitno, da se največji premiki pojavljajo ravno na območjih plazov (sliki 2 in 3 ter 4 in 5).

Očitna je tudi razlika med podatki dvigajoče se (ASC) in spuščajoče se (DSC) orbite, ki so na prvi videz kontradiktorni (kjer se pojavlja pri eni orbiti premik proti satelitu, se pri drugi orbiti pojavi premik stran od satelita, seveda oboje v smeri LOS). To navidezno neujemanje lahko razložimo z geometrijo, saj rdeča barva (negativne vrednosti) na slikah 2 in 3 ter 4 in 5 predstavlja premik stran od satelita, ki pri dvigajoči se orbiti (ASC) pomeni premik navzdol ali proti vzhodu ali kombinacijo teh dveh premikov. Pri spuščajoči se orbiti (DSC) pa rdeča barva prav tako pomeni premik stran od satelita, ki pa tokrat pomeni premik navzdol ali proti zahodu (ali kombinacijo teh dveh premikov). Premik plazov je zaradi usmeritve pobočij pričakovano (in tudi na nekaterih mestih izmerjen) v smeri proti jugozahodu. Zato so podatki spuščajoče se orbite bolj primerni za analizo in interpretacijo, saj merijo premike v pričakovani smeri, medtem ko podatki dvigajoče se orbite merijo premike bolj pravokotno na pobočje, kjer ni nujno, da se premiki sploh opazijo - če je premik popolnoma pravokoten na linijo LOS, ga meritev dvigajoče se orbite sploh ne bo zaznala.

Pri dvigajoči se orbiti (sliki 3 in 5) so premiki na plazovih večinoma pozitivni (modra barva), kar torej kaže na premike ali navzgor (kar za plaz na pobočju ni logična razlaga) ali proti zahodu, kar dobro sovпада s pričakovanimi premiki plazov. Pri spuščajoči se orbiti (sliki 2 in 4) pa so premiki na območjih plazov negativni, torej navzdol ali proti zahodu, kar je oboje možno in pričakovano. Absolutne vrednosti premikov so tudi večje pri podatkih spuščajoče se orbite, kar je v skladu s prejšnjima ugotovitvama. Razpon barv na slikah 2 in 3 je prilagojen na $\pm 3,7$ mm/leto oz. na ± 4 mm/leto na slikah 4 in 5 tako, da je vidna večina premikov.

Premiki posameznih plazov so precej različni. Zanimivo je dejstvo, da so premiki večji proti vzhodu, torej vzdolž hitre ceste od Vipave proti Razdrtem. Na dnu doline pri Vipavi in bližnji okolici, kjer

pričakujemo stabilno ozemlje brez kakršnihkoli premikov, so vertikalni premiki velikostnega reda do $-1,5$ mm/leto (torej gre v splošnem za posedanje), kar je posledica regionalnih geoloških oz. tektonskih razmer na širšem območju in ni vezano na plazenje oz. premike po pobočjih. Za podatke spuščajoče se orbite, ki je torej bolj relevantna za interpretacijo premikov, v nadaljevanju podajamo vrednosti premikov, ki se pojavljajo znotraj posameznih plazov. Naj opozorimo, da so te vrednosti približne, saj so interpolirane, in pri tem se zabrišejo največje in najmanjše vrednosti, poleg tega pa interpolacija zaradi različne gostote točk tudi ni povsem enake »kvalitete«. Natančnost meritev je ustrezna, saj so premiki večinoma večji, kot je sama napaka meritev; ta je boljša kot 1 mm/leto (Capes in Passera 2023).

Premiki na plazu Razdrto so najvišji (preko 13 mm/leto, slike 2 do 6), ki jih lahko razložimo predvsem s sestavo plazu – gre za ogromne količine (okoli 12 do 15 milijonov m^3) karbonatnega grušča, ki je ponekod sprjet v breče, povprečna globina grušča je 11 m, največja debelina pa celo preko 50 m (Žakelj 2009; Ribičič 2014). Grušč in breča drsita po flišu, kjer ima pomembno vlogo tudi podzemna voda, ki se hitro pretaka skozi grušč in se zadržuje na stiku z bistveno manj prepustnim flišem, ter tako teče po drsni ploskvi. Izrazit je odlomni robu plazu, kjer je vidna aktivna ogromna razpoka širine 20 do 30 m, ki bi bila globoka po oceni več kot 20 m, če ne bi bila zapolnjena s kosi padajočega apnenca (Ribičič 2014). Plaz je očitno zelo aktiven. Po novejši klasifikaciji Hungra in sod. (Hungar, Leroueil in Picarelli 2014) ga uvrščamo med kamninske plazove. Podobne premike ima tudi plaz Orešje (Popit 2016), skoraj 10 mm/leto. Večje premike, preko 6 mm/leto, opazimo tudi na plazu Šumljak (oz. na delu plazu Šumljak 2), ki je podobno sestavljen iz menjavanja karbonatnega grušča in karbonatne breče, čeprav ima ta plaz tudi bolj kompleksno sestavo in zgodovino nastanka (Popit 2017). Omembe vredni in jasno izraženi premiki so tudi na plazovih Šumljak 3, Sv. Magdalena in delno tudi Polance, Podgrič ter Lozice, manjši pa so premiki na plazovih Podboršt in Otošče. Razlogov je več, nekateri plazovi so bili prepoznani kot fosilni in so danes delno reaktivirani, poleg tega pa nekatere plazove sestavljajo tudi sedimenti drobirskih tokov oz. blatno-drobirskih tokov, npr. Sv. Magdalena in Otošče (slednji je nastal z dvema sedimentacijskima dogodkoma), delno tudi plazovi Šumljak (Popit 2016) ter Lozice in Podgrič (Popit in Košir 2010), na slikah 2 do 5 označeno z oznako DT za drobirski tok) in so ti plazovi zato precej bolj kompleksne sestave.

5 Sklep

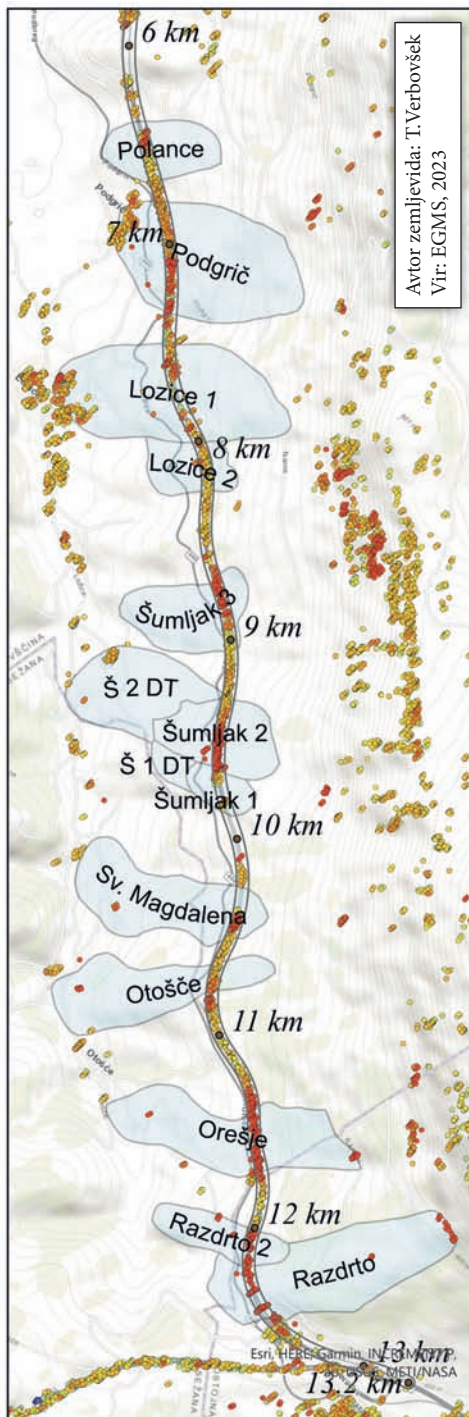
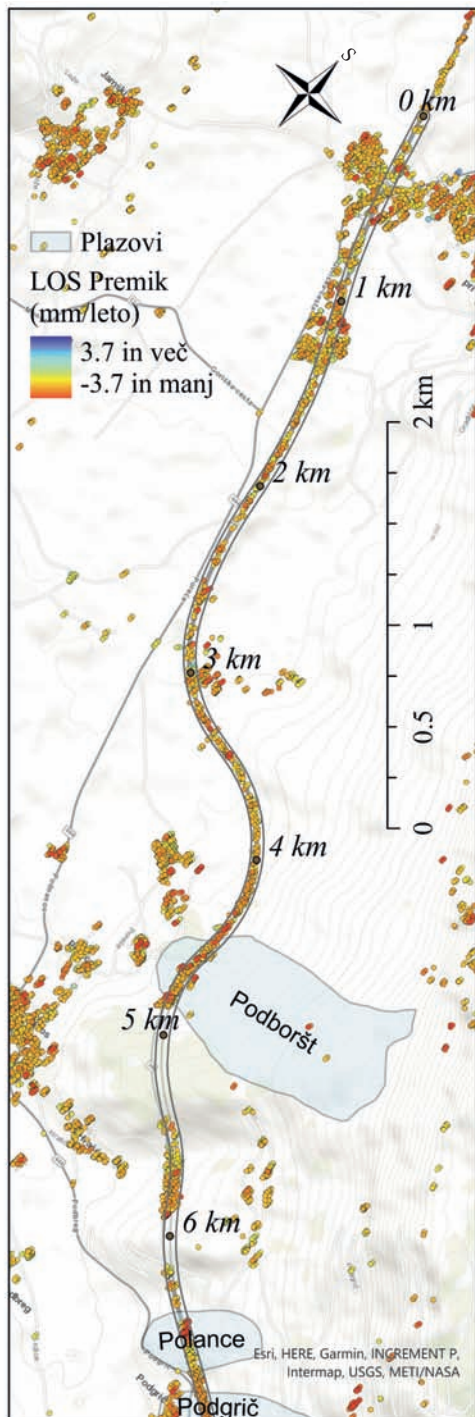
Metoda satelitske interferometrije InSAR je na podlagi prikazanih rezultatov torej zelo uporabna pri študiji premikov plazov, saj kvalitetno in natančno pokaže premike milimetrskih velikosti v daljšem časovnem obdobju. Nekajdnevni časovni interval meritev je zadovoljiv, sploh za bolj počasne plazove, ki se pojavljajo v Vipavski dolini. Zaradi usmerjenosti pobočij proti jugozahodu so za interpretacijo bolj primerni podatki spuščajoče se orbite, saj bolje pokažejo premike v smeri plazenja. Interpolacija premikov z metodo krigriranja v pasu vzdolž hitre ceste se je pokazala kot primerna metoda za interpretacijo, saj omogoča zvezen prikaz premikov tudi na območjih, kjer je originalnih podatkov bistveno manj kot drugod ali jih ni. Največji premiki, tudi preko 13 mm/leto v smeri LOS za spuščajočo se orbito, so bili zabeleženi na plazu Razdrto, premiki pa padajo proti zahodu oz. vzdolž hitre ceste proti Vipavi. Večji premiki so na plazovih, ki so sestavljeni iz grušča in karbonatnih breč, ki se lahko premikajo kot celota (grušč) ali kot posamezni bloki (breče). Interpretacijo otežuje dejstvo, da je večina plazov kompleksnih ter reaktiviranih (danes so podvrženi procesom lezenja) in niso nastali samo v enem časovnem dogodku, temveč v več, in tudi njihova sestava je izredno kompleksna ter natančna analiza vsakega

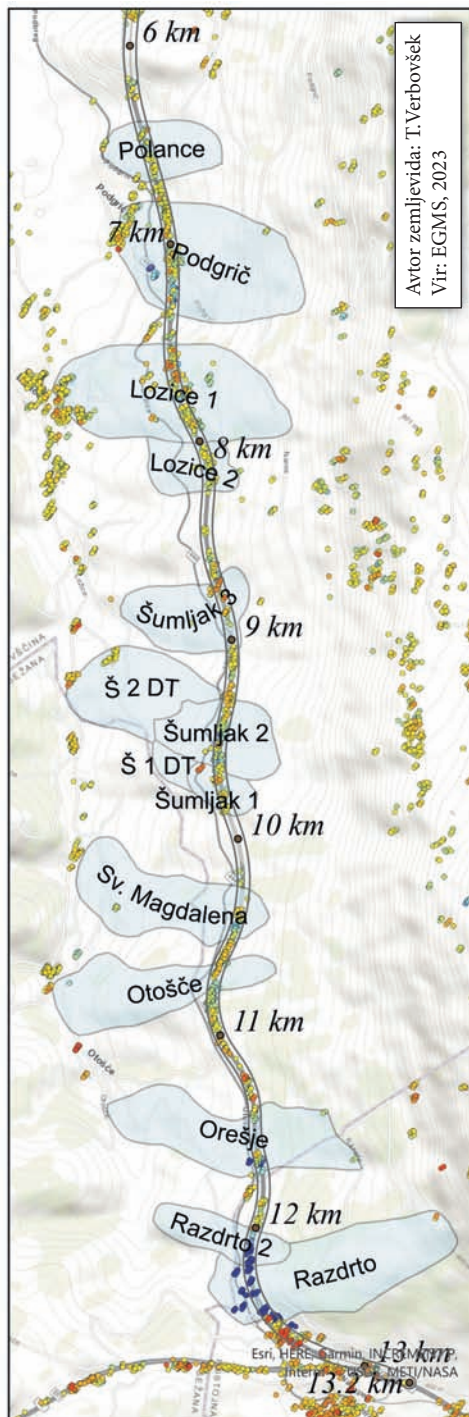
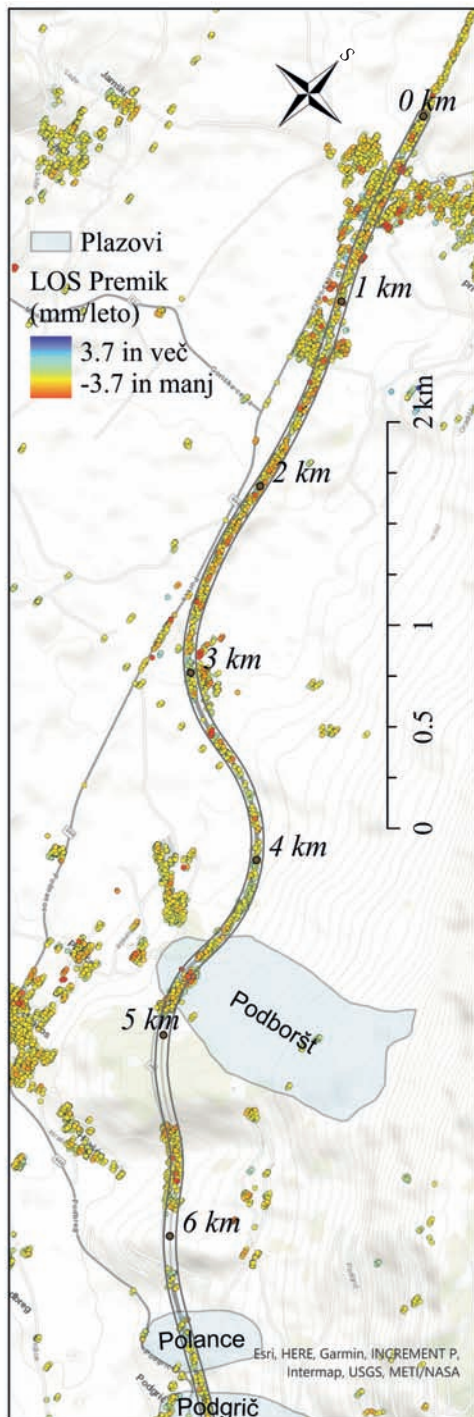
Slika 2: Premiki spuščajoče se (DSC) orbite z izvornimi točkovnimi podatki. ► (str. 76)

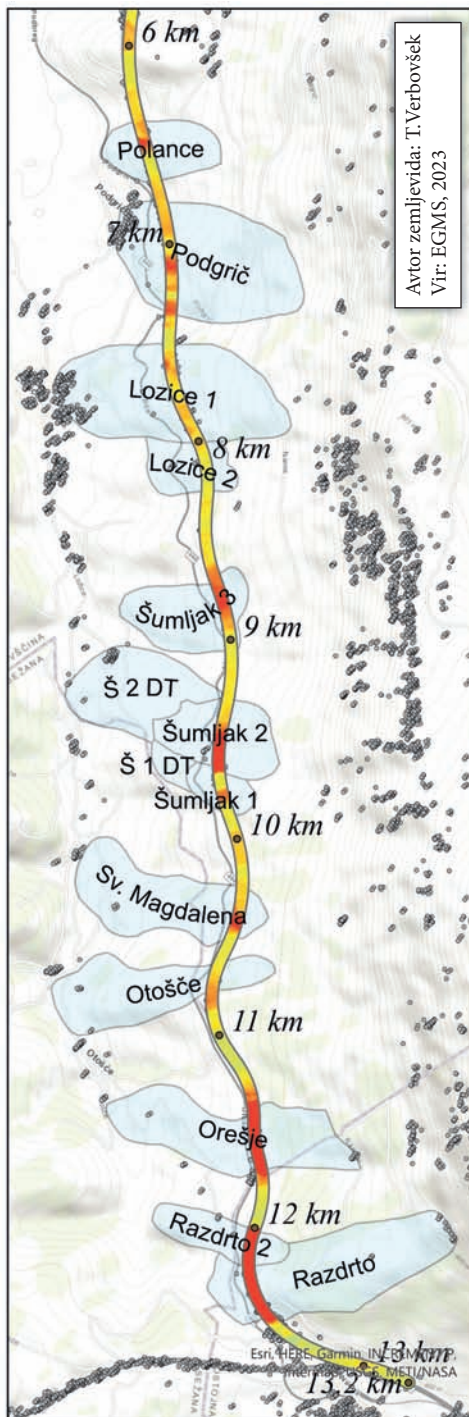
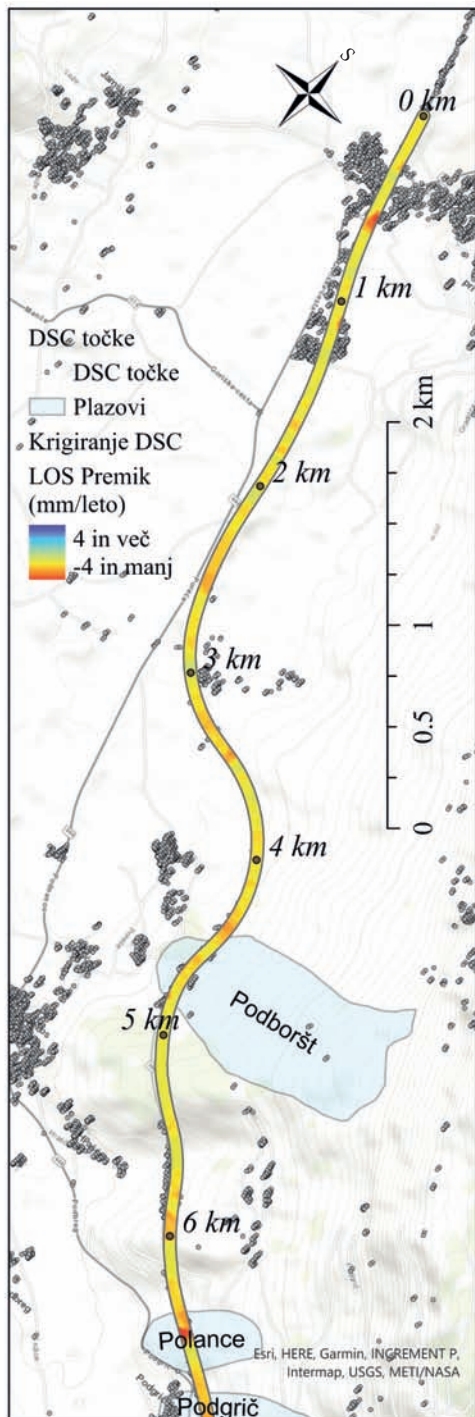
Slika 3: Premiki dvigajoče se (ASC) orbite z izvornimi točkovnimi podatki. ► (str. 77)

Slika 4: Premiki spuščajoče se (DSC) orbite z interpoliranimi vrednostmi vzdolž hitre ceste. ► (str. 78)

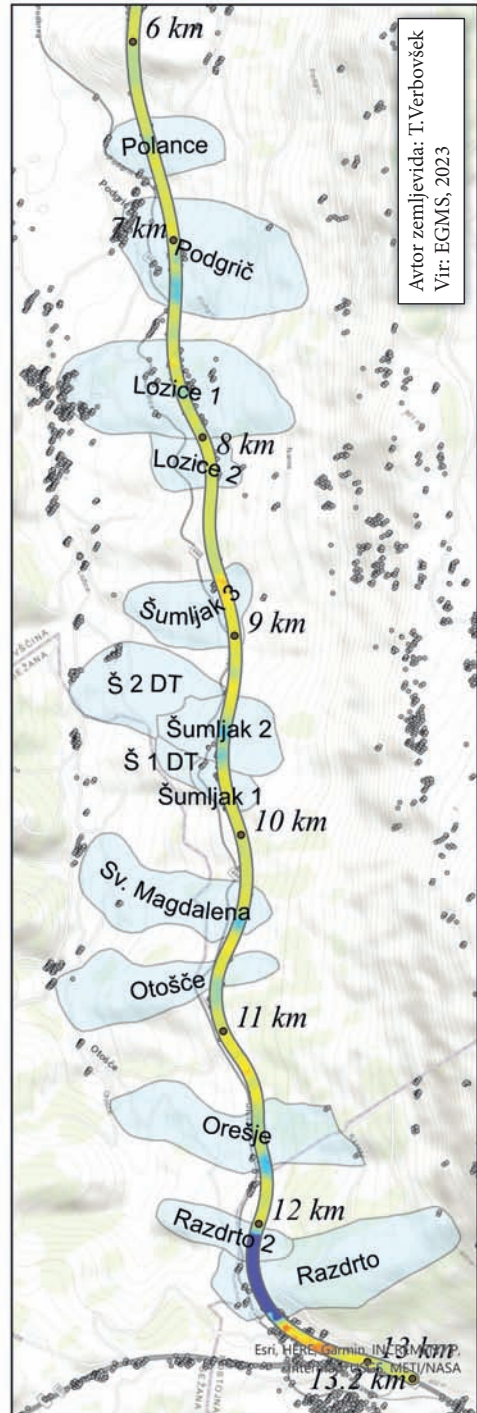
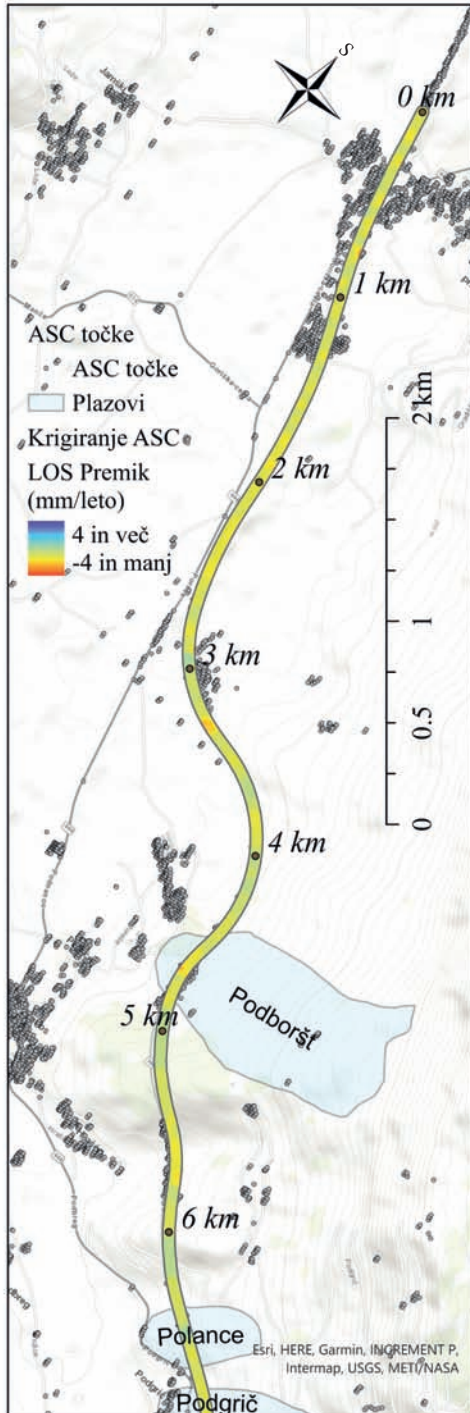
Slika 5: Premiki dvigajoče se (ASC) orbite z interpoliranimi vrednostmi vzdolž hitre ceste. ► (str. 79)

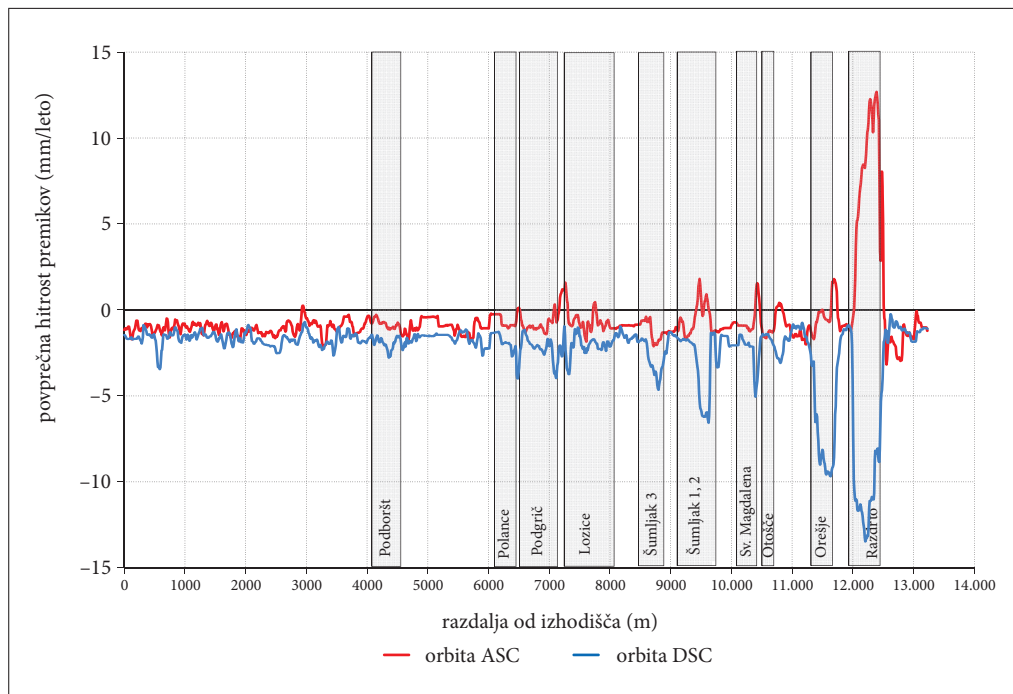






Avtor zemljevida: T. Verbovšek
 Vir: EGMS, 2023





Slika 6: Interpolirani premiki za dvigajočo se (ASC) in spuščajočo se (DSC) orbito z označenimi območji plazov na Rebrnicah.

posebej presega obseg tega prispevka. Trenutne aktivnosti so usmerjene v primerjavo rezultatov satelitske interferometrije s terenskimi geotehničnimi meritvami, predvsem inklinometriških meritev v vrtinah, GNSS premikov ter analiz podzemne vode, ki ima prav tako pričakovan vpliv na procese plaziranja. Poleg tega nameravamo natančneje preučiti zgradbo posameznih plazov in s tem izboljšati interpretacijo premikov.

6 Viri in literatura

- Buser, S., Cajhen, J., Ferjančič, L., Gadžič, S., Gospodarič, R., Hinterlechner-Ravnik, A., Mioč, P., Orehek, S., Pavlovec, R., Pavlovič, B., Pleničar, M., Pohar, V., Pohar, J., Prestor, M., Šribar, L. 1973: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, list Gorica. Zvezni geološki zavod. Beograd.
- Buser, S., Ferjančič, L., Grad, K., Turnšek, D., Mencej, Z., Orehek, A., Pavlovec, R., Pleničar, M., Prestor, M., Rijavec, J., Šribar, L. 1967: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, list Postojna. Zvezni geološki zavod. Beograd.
- Capes, R., Passera, E. 2023: End-to-end implementation and operation of the European Ground Motion Service (EGMS). Product Description and Format Specification. Consortium ORIGINAL (OpeRational Groundmotion INsar ALLiance), <https://land.copernicus.eu/en/products/european-ground-motion-service> oz. <https://land.copernicus.eu/en/technical-library/egms-product-description-document/@@download/file> (20. 2. 2024)
- Costantini, M., Minati, F., Trillo, F., Ferretti, A., Novali, F., Passera, E., Dehls, J., Larsen, Y., Marinkovic, P., Eineder, M., Brcic, R., Siegmund, R., Kotzerke, P., Probeck, M., Kenyeres, A., Proietti, S., Solari, L.,

- Andersen, H.S. 2021: European Ground Motion Service (EGMS). 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS. Bruselj. DOI: <https://doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.9553562>
- Crosetto, M., Solari, L., Balasis-Levinsen, J., Bateson, L., Casagli, N., Frei, M., Oyen, A., Moldestad, D. A., Mróz, M. 2021: Deformation monitoring at European scale: The Copernicus Ground Motion Service. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLIII-B3-2021: 141-46. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2021-141-2021>
- Debevec Jordanova, G., Oštir, K., Jemec Auflič, M., Verbovšek, T. 2021: Uporaba PSInSAR metode za spremljanje aktivnosti večjih plazov: preliminarni rezultati za plaz Slano blato (JZ Slovenija). 25. posvetovanje slovenskih geologov. Ljubljana.
- Debevec Jordanova, G., Popović, Z., Yastika, P.E., Shimizu, N., Oštir, K., Stepišnik, U., Verbovšek, T. 2023: Spremljanje dinamike plazu Šumljak (JZ Slovenija) z daljinskim zaznavanjem in in-situ meritvami. 26. posvetovanje slovenskih geologov. Ljubljana.
- Debevec Jordanova, G., Vrabec, M., Oštir, K., Verbovšek, T. 2022: Monitoring the Slano blato mudflow using InSAR and UAV photogrammetry (preliminary results). *Landslide Modelling & Applications: Proceedings of the 5th Regional Symposium on Landslides in the Adriatic-Balkan Region*. Rijeka.
- Debevec Jordanova, G., Verbovšek, T. 2023: Improved Automatic Classification of Litho-Geomorphological Units by Using Raster Image Blending, Vipava Valley (SW Slovenia). *Remote Sensing* 15 (2). DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15020531>
- Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F. 2001: Permanent scatterers in SAR interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 39 (1). DOI: <https://doi.org/10.1109/36.898661>
- Ferretti, A. 2014: Satellite InSAR Data: Reservoir Monitoring from Space. DB Houten, The Netherlands.
- Ferretti, A., Passera, E., Capes, R. 2023: End-to-end implementation and operation of the European Ground Motion Service (EGMS). Algorithm Theoretical Basis Document. Consortium ORIGINAL (Operational Groundmotion INsar ALLiance), https://land.copernicus.eu/en/products/european-ground-motion-service_oz. <https://land.copernicus.eu/en/technical-library/egms-algorithm-theoretical-basis-document/@@download/file> (20. 2. 2024)
- Habič, P. 1968: Kraški svet med Idrijco in Vipavo: prispevek k poznavanju razvoja kraškega reliefa. Vol. 21. Dela / Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Razred za prirodoslovne in medicinske vede. Ljubljana.
- Hung, O., Leroueil, S., Picarelli, L. 2014: The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides* 11 (2). DOI: <https://doi.org/10.1007/s10346-013-0436-y>
- Janež, J., Čar, J., Habič, P., Podobnik, R. 1997: Vodno bogastvo Visokega krasa: Ranljivost kraške podzemne vode Banjšic, Trnovskega gozda, Nanosa in Hrušice. Idrija.
- Jemec Auflič, M., Jež, J., Popit, T., Košir, A., Maček, M., Logar, J., Petkovšek, A., Mikoš, M., Calligaris, C., Boccali, C., Zini, L., Reitner, J.M., Verbovšek T. 2017: The variety of landslide forms in Slovenia and its immediate NW surroundings. *Landslides* 14. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10346-017-0848-1>
- Jemec Auflič, M., Oštir, K., Šegina, E., Peternel, T., Ivačić, M., Beden, A. 2023: Ground deformation detection and assessment of landslide potential damage with support of Copernicus. *Landslide Science for Sustainable Development: Proceedings of the 6th World Landslide Forum*. Firenze.
- Jež, J. 2007: Reasons and mechanism for soil sliding processes in the Rebrnice Area, Vipava Valley, SW Slovenia. *Geologija* 50 (1). DOI: <https://doi.org/10.5474/geologija.2007.005>
- Jež, J., Popit, T., Maček, M. 2017: Rebrnice landslides. Living with slope mass movements in Slovenia and its surroundings: post forum study tour guide book for 4th World Landslide Forum. Ljubljana.
- Kočevar, M. 2011: Problem stabilnosti terena ob naravnem robu mezozojskih karbonatnih kamnin na eocenske fliše v jugozahodni Sloveniji. Zbornik referatov, 12. Šukljjetovi dnevi. Ajdovščina. Medmrežje 1: <https://egms.land.copernicus.eu/> (11. 4. 2024).
- Medmrežje 2: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/3.1/tool-reference/geostatistical-analyst/idw.htm> (12. 4. 2024).

- Mikoš, M., Petkovšek, A., Majes, B. 2009: Mechanisms of landslides in over-consolidated clays and flysch. *Landslides* 6 (4). DOI: <https://doi.org/10.1007/s10346-009-0171-6>
- Novak, A., Verbovšek, T., Popit, T. 2017: Heterogeneously composed Lozice fossil landslide in Rebrnice area, Vipava Valley. *Geologija* 60 (1). DOI: <https://doi.org/10.5474/geologija.2017.011>
- Oštir, K. 2006: Daljinsko zaznavanje. Ljubljana.
- Petkovšek, A., Maček, M., Mikoš, M., Majes, B. 2013: Mechanism of Active Landslides in Flysch. *Landslides: Global Risk Preparedness*. Berlin, Heidelberg.
- Placer, L. 2007: Vzroki nastajanja recentnih in subrecentnih plazov na Rebrnicah - geohazard z vidika kompleksnosti geoloških procesov. *Geološki zbornik*, 18. posvetovanje slovenskih geologov, Ljubljana.
- Placer, L. 1981: Geološka zgradba jugozahodne Slovenije. *Geologija* 24 (1).
- Placer, L. 2008: Principles of the tectonic subdivision of Slovenia. *Geologija* 51 (2). DOI: <https://doi.org/10.5474/geologija.2008.021>
- Popit, T. 2016: Mehanizmi transporta in sedimentacijski procesi kvartarnih pobočnih sedimentov na območju Rebrnic. Doktorska disertacija, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Popit, T. 2017: Origin of planation surfaces in the hinterland of Šumljak sedimentary bodies in Rebrnice (Upper Vipava Valley, SW Slovenia). *Geologija* 60 (2). DOI: <https://doi.org/10.5474/geologija.2017.021>
- Popit, T., Jež, J., Košir, A., Fifer Bizjak, K., Ribičič, M. 2014a: Kvartarni pobočni sedimenti severnega in vzhodnega roba Vipavske doline. 4. Slovenski geološki kongres. Ankaran.
- Popit, T., Kokalj, Ž., Verbovšek, T. 2011: Uporaba lidarja pri proučevanju geomorfoloških oblik na območju Rebrnic in Vipavskih Brd. *Geološki zbornik*, 20. posvetovanje slovenskih geologov. Ljubljana.
- Popit, T., Košir, A. 2010: Kvartarni paleoplazovi na Rebrnicah. 3. Slovenski geološki kongres, Povzetki in ekskurzije. Bovec.
- Popit, T., Rožič, B., Šmuc, A., Kokalj, Ž., Verbovšek, T., Košir, A. 2014b: A lidar, GIS and basic spatial statistic application for the study of ravine and palaeo-ravine evolution in the upper Vipava valley, SW Slovenia. *Geomorphology* 204. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.09.010>
- Popit, T., Rožič, B., Šmuc, A., Novak, A., Verbovšek, T. 2022: Using a lidar-based height variability method for recognizing and analyzing fault displacement and related fossil mass movement in the Vipava Valley, SW Slovenia. *Remote Sensing* 14 (9). DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14092016>
- Popit, T., Supej, B., Kokalj, Ž., Verbovšek, T. 2016: Comparison of methods for geomorphometric analyzes of surface roughness in the Vipava valley. *Geodetski vestnik* 60 (02). DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2016.02.227-240>
- Popit, T., Verbovšek, T. 2013: Analysis of surface roughness in the Sveta Magdalena paleo-landslide in the Rebrnice area = Analiza hrapavosti površja fosilnega plazov Sveta Magdalena na območju Rebrnic. *RMZ - Materials and Geoenvironment* 60 (3).
- Ribičič, M. 2014: Zemeljski plazovi. Vipavska dolina. Neživi svet, rastlinstvo, živalstvo, zgodovina, umetnostna zgodovina, gmotna kultura, gospodarstvo in naravovarstvo. Ljubljana.
- Ulacec, D. 2009: Inženirskogeološke preiskave terena z georadarjem na izbranih primerih. Diplomsko delo, Naravoslovnotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Verbovšek, T., Brenčič, M. 2023: Analiza posedanja Ljubljanskega barja z metodo satelitske interferometrije. 26. posvetovanje slovenskih geologov. Ljubljana.
- Verbovšek, T., Popit, T. 2018: GIS-assisted classification of litho-geomorphological units using Maximum Likelihood Classification, Vipava Valley, SW Slovenia. *Landslides* 15 (7). DOI: <https://doi.org/10.1007/s10346-018-1004-2>
- Verbovšek, T., Popit, T., Kokalj, Ž. 2019: VAT method for visualization of mass movement features: An alternative to hillshaded DEM. *Remote Sensing* 11 (24). DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11242946>
- Zorn, M., Komac, B. 2008: Zemeljski plazovi v Sloveniji. Ljubljana.
- Žakelj, B. 2009: Inženirsko – geološke značilnosti fosilnega plazov Razdrto. Diplomsko delo, Naravoslovnotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.

PRIMERJAVA DOSTOPNOSTI OBSTOJEČIH ENOT NUJNE MEDICINSKE POMOČI S PREDLOGOMA IZ LET 2022 IN 2024

Martin Fale, dr. Klemen Prah

Univerza v Mariboru, Fakulteta za logistiko

martin.fale1@um.si, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6014-1775>

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

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610508885_07

UDK: 614.21:616-083.98(497.4) "2022/2024"

IZVLEČEK

Primerjava dostopnosti obstoječih enot nujne medicinske pomoči s predlogoma iz let 2022 in 2024

Nedavni predlog prenove sistema nujne medicinske pomoči (NMP) v Sloveniji je naletel na buren odziv v javnosti. Predloga, predstavljena v letih 2022 in 2024, predvidevata vzpostavitev urgentnih centrov in satelitskih urgentnih centrov. Število urgentnih centrov in satelitskih urgentnih centrov naj bi bilo manjše kot obstoječe število enot NMP. S programskim orodjem ArcGIS Pro smo ugotovili in prikazali, da bi nadomestitev obstoječega sistema enot NMP z urgentnimi centri in s satelitskimi urgentnimi centri pomembno zmanjšala dostopnost enot NMP.

KLJUČNE BESEDE

nujna medicinska pomoč, urgentni center, satelitski urgentni center, dostopnost, mrežna analiza

ABSTRACT

Comparison of the accessibility of existing emergency medical units with proposals from 2022 and 2024

Recent proposal to restructure the emergency medical services system in Slovenia has sparked a strong public reaction. Proposals, presented in 2022 and in 2024, suggest the establishment of emergency centers and satellite emergency medical stations. It is expected that the number of emergency centers and satellite emergency medical stations would be lower than the number of current emergency medical units. Using the ArcGIS Pro software, we have demonstrated that replacing existing emergency medical units with emergency centers and satellite emergency medical stations would significantly reduce the accessibility of emergency medical units.

KEY WORDS

emergency medical service, emergency center, satellite emergency medical station, accessibility, network analysis

1 Uvod

Predlog prenove sistema nujne medicinske pomoči (NMP) je naletel na buren odziv v javnosti. Predloga, javno predstavljena v letih 2022 in 2024, predvidevata reorganizacijo enot NMP, ki so bile vzpostavljene leta 1996 ter že spremenjene v letih 2008 in 2015 (Prosen s sodelavci 2022; Zupanič 2024). Predloga predvidevata vzpostavitev urgentnih centrov in satelitskih urgentnih centrov ter ukinitvev nekaterih obstoječih enot NMP. Zato na območjih, kjer je predvidena ukinitvev enot NMP, predlogu ostro nasprotujejo lokalne skupnosti (Turk 2022; Zupanič 2024).

Za razporeditev enot NMP je zelo pomembno število prebivalcev z drugimi demografskimi podatki, geografske in prometne razmere. Delovanje sistema NMP je opredeljeno v Pravilniku o službi nujne medicinske pomoči (2015). V pravilniku so opredeljene lokacije enot NMP in časovna okna za intervencije NMP, in sicer izvozni čas ter povprečni dostopni čas. Izvozni čas enote NMP je opredeljen na manj kot eno minuto, povprečni dostopni čas pa naj ne bi presegal 15 minut. Povprečni dostopni čas je opredeljen kot povprečni čas dostopa vseh nujnih intervencij do območja, kamor posamezna enota NMP prispe v nekem obdobju. V prispevku na podlagi tega opredelimo dostopnost urgentne zdravstvene oskrbe kot zmožnost prispeti do nekega hišnega naslova v Sloveniji z enoto NMP v nekem obdobju.

V raziskavi smo se osredotočili na dostopnost enot NMP v Sloveniji. Dostopnost smo merili s številom in deležem hišnih naslovov, ki jih zajamejo storitvena območja enot NMP. Zanimalo nas je, do koliko hišnih naslovov v Sloveniji in v posameznih statističnih regijah lahko obstoječe enote NMP dostopajo v 15 minutah vožnje z reševalnim vozilom in do koliko hišnih naslovov bi dostopale na podlagi obeh predlogov razporeditve urgentnih in satelitskih urgentnih centrov. Tako smo prikazali velikost storitvenih območij enot NMP. Zanimalo nas je tudi razmerje med površino storitvenega območja obstoječih enot NMP ter površino storitvenega območja urgentnih in satelitskih urgentnih centrov.

2 Metodologija

Iz pravilnika o organiziranosti NMP in iz predlogov razporeditve urgentnih in satelitskih urgentnih centrov smo pridobili njihove lokacije in dostopni čas. Dostopni čas smo uporabili kot parameter analize storitvenih območij. V raziskavi smo uporabili programsko orodje *ArcGIS Pro 3.2.2* z dodatkom za mrežne analize *Network Analyst*. Izvedli smo tri analize storitvenih območij (angleško *service area*), prvo na podlagi obstoječih lokacij enot NMP, drugo za predlog iz leta 2022 in tretjo za predlog iz leta 2024. Storitveno območje v raziskavi pomeni območje, ki ga lahko doseže enota NMP z reševalnim vozilom v 15 minutah vožnje z začetne točke – lokacije enote NMP. Metodološko analiza temelji na Dijkstrovem algoritmu za iskanje najkrajše poti (Dijkstra 1959). Za prometni mrežni model smo uporabili model iz oblaka podjetja Esri.

Rezultate raziskave smo prikazali v obliki zemljevidov in preglednic. Na vsakem izmed zemljevidov, ki prikazujejo storitvena območja ene izmed treh obravnavanih različic razporeditve enot NMP, je prikazan območni sloj statističnih regij Slovenije. Za boljšo orientacijo smo na te zemljevide dodali linijski sloj slovenskega avtocestnega omrežja (Register prostorskih enot 2024; Zbirni kataster gospodarske ... 2024). V sloj objektov (*Facilities*) znotraj sloja storitvenih območij smo na podlagi naslovov zdravstvenih ustanov vnesli obstoječe lokacije enot NMP, lokacije iz predloga iz leta 2022 in lokacije iz predloga iz leta 2024. Pri analizah storitvenih območij smo predpostavili, da so urgentni centri in satelitski urgentni centri v obeh predlogih na lokacijah obstoječih enot NMP. Iskanje zdravstvenih ustanov na zemljevidu je potekalo z orodjem *Locate*, uporabljen je bil lokator *ArcGIS World Geocoding Service*. Parametre analize smo nastavili na vožnjo z reševalnim vozilom, omogočili smo polkrožno obračanje kjerkoli v cestnem omrežju in označili način vožnje kot vozilo s prednostjo, kot omejitveni čas (*Cutoff*) pa smo vnesli povprečni dostopni čas 15 minut. Smer potovanja je bila določena v stran od objektov (*Away from Facilities*), saj nas je zanimala dostopnost enot NMP do hišnih naslovov.

Kot točke, do katerih dostopajo enote NMP, smo uporabili točkovni sloj hiš (Register prostorskih enot 2024). Gre za nabor 565.888 točk, imaginarnih lokacij, ki ponazarjajo dejanske lokacije objektov. Zanimalo nas je, koliko teh točk zajamejo storitvena območja enot NMP. Da bi omejili nabor točk po statističnih regijah, smo uporabili orodje *Clip*. Vsoto točk smo uporabili za izračun deležev, pri čemer smo število točk, ki jih zajame storitveno območje v statistični regiji, delili s številom vseh točk v zadevni statistični regiji. Na podlagi teh deležev smo določili razliko v dostopnosti in jo po posameznih statističnih regijah prikazali tudi na zemljevidu.

S pomočjo podatka o površini v atributni tabeli sloja storitvenih območij smo določili tudi razmerje med površino, ki jo pokriva storitveno območje obstoječih enot NMP, in površino, ki bi jo pokrivala storitvena območja urgentnih centrov ter satelitskih urgentnih centrov glede na predlog iz leta 2022 in 2024.

3 Rezultati

Dostopnost obstoječih enot NMP je takšna, da je v 15 minutah možno z reševalnim vozilom doseči do 401.055 oziroma 70,9 % hišnih naslovov v Sloveniji. Po predlogu iz leta 2022 bi bila ta dostopnost precej manjša – dosegli bi le 303.399 oziroma 53,6 % hišnih naslovov. Urgentni in satelitski urgentni centri bi v predlogu iz leta 2022 pokrili 51,8 % površine storitvenih območij obstoječih enot NMP. Po predlogu iz leta 2024 bi z reševalnim vozilom v 15 minutah dosegli le do 268.934 oziroma 47,5 % hišnih naslovov. Storitvena območja urgentnih centrov in satelitskih urgentnih centrov bi pokrila le 44,3 % Slovenije v primerjavi z dandanašnjimi storitvenimi območji enot NMP.

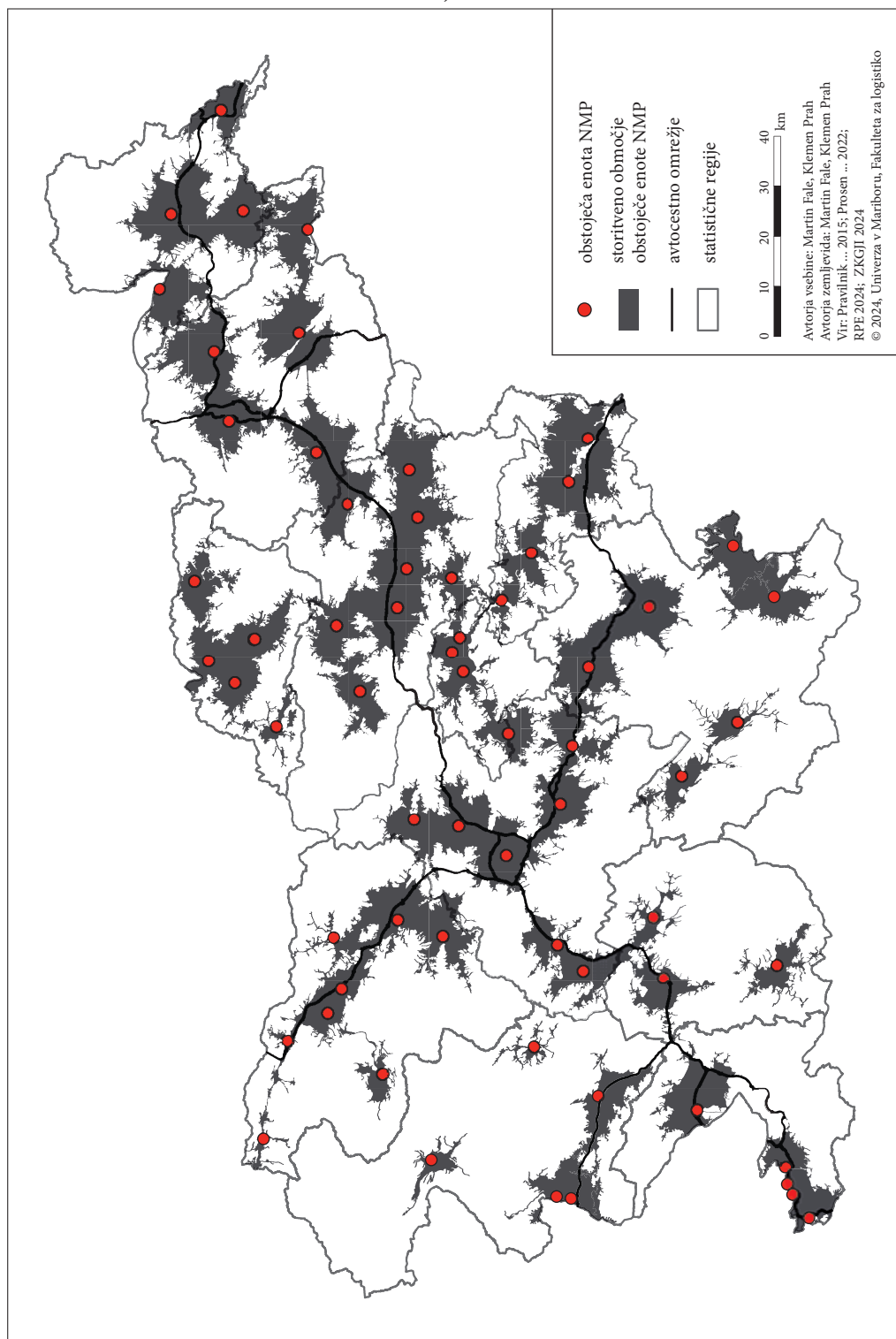
Obstoječe enote NMP so razporejene na 66 lokacijah, vse od urgentnih centrov do zdravstvenih postaj. Najmanj enot NMP je v primorsko-notranjski statistični regiji (3), največ pa v savinjski in gorenjski statistični regiji (po 8). Treba je opozoriti, da je dejavnost NMP zdravstvenih domov v Mariboru, Trbovljah, Celju in Murski Soboti združena z mestnimi urgentnimi centri oziroma splošno bolnišnico. Razporeditev obstoječih enot NMP in njihovih storitvenih območij je prikazana na sliki 1.

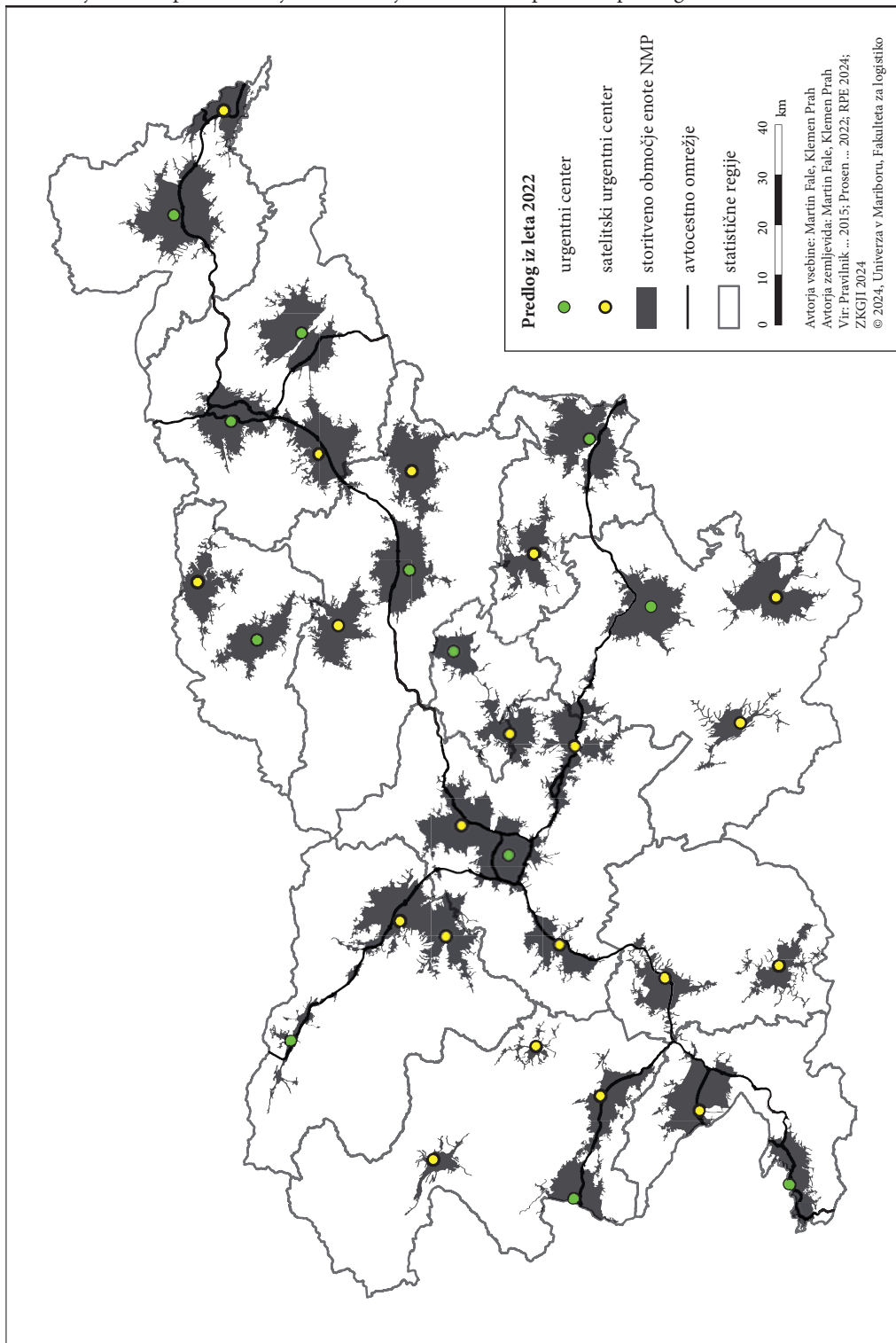
Predlog iz leta 2022 je predvideval preoblikovanje obstoječe razporeditve enot NMP z vzpostavitvijo 12 urgentnih in 20 satelitskih urgentnih centrov. Po tem predlogu bi imele pomurska, koroška, zasavska, posavska in obalno-kraška statistična regija vsaka po en urgentni center ter en satelitski urgentni center. Savinjska in gorenjska statistična regija ter jugovzhodna Slovenija bi imele vsaka po en urgentni center ter dva satelitska urgentna centra. Osrednjeslovenska in goriška statistična regija bi imeli vsaka po en urgentni center in tri satelitske urgentne centre. Podravska statistična regija pa bi imela po dva urgentna centra in en satelitski urgentni center, primorsko-notranjska statistična regija pa bi imela le dva satelitska urgentna centra. Razporeditev enot NMP po predlogu iz leta 2022 in njihovih storitvenih območij je prikazana na sliki 2 (Prosen s sodelavci 2022).

Če bi namesto obstoječih enot NMP sprejeli predlog iz leta 2022, bi se dostopnost urgentne zdravstvene oskrbe zmanjšala v vseh statističnih regijah. Najbolj bi se dostopnost zmanjšala v koroški regiji, in sicer za kar 31,5 odstotne točke. Na Koroškem je trenutno šest enot NMP, po novem pa bi tam ostali le še dve tovrstni enoti. Podobno velja za savinjsko in gorenjsko statistično regijo, kjer bi se število enot NMP zmanjšalo za največ, in sicer iz osem na tri: na Savinjskem bi se dostopnost zmanjšala za 29,9 odstotne točke, na Gorenjskem pa za 27,0. Število enot NMP bi se najmanj zmanjšalo v goriški in v primorsko-notranjski statistični regiji, in sicer za eno enoto. Posledično ima goriška statistična regija najmanjšo razliko v dostopnosti do hišnih naslovov izmed vseh statističnih regij, saj bi se ta zmanjšala le za 1,6 odstotne točke. Podrobni rezultati analize dostopnosti glede na predlog iz leta 2022 so prikazani v preglednici 1.

Slika 1: Storitvena območja obstoječih enot NMP. ► (str. 86)

Slika 2: Storitvena območja enot NMP glede na predlog iz leta 2022. ► (str. 87)





Preglednica 1: Rezultati analize dostopnosti enot NMP do hišnih naslovov glede na predlog iz leta 2022.

statistična regija	število hišnih naslovov	dostopnost do hišnih naslovov (obstoječe enote NMP) (v %)	dostopnost do hišnih naslovov (predlog iz leta 2022) (v %)	razlika (v odstotnih točkah)	razlika v številu enot NMP
posavska	27.742	71,6	47,9	-23,7	-2
osrednjeslovenska	111.231	76,6	69,3	-7,3	-3
primorsko-notranjska	16.058	67,7	53,0	-14,7	-1
goriška	38.400	56,9	55,3	-1,6	-1
pomurska	43.529	66,5	42,8	-23,7	-2
jugovzhodna Slovenija	49.396	64,4	43,7	-20,7	-4
obalno-kraška	32.314	70,7	59,2	-11,5	-3
zasavska	12.913	72,3	54,5	-17,8	-2
podravska	93.554	66,0	52,6	-13,4	-2
savinjska	72.061	73,8	43,9	-29,9	-5
koroška	17.872	82,6	51,1	-31,5	-4
gorenjska	50.791	80,0	53,0	-27,0	-5

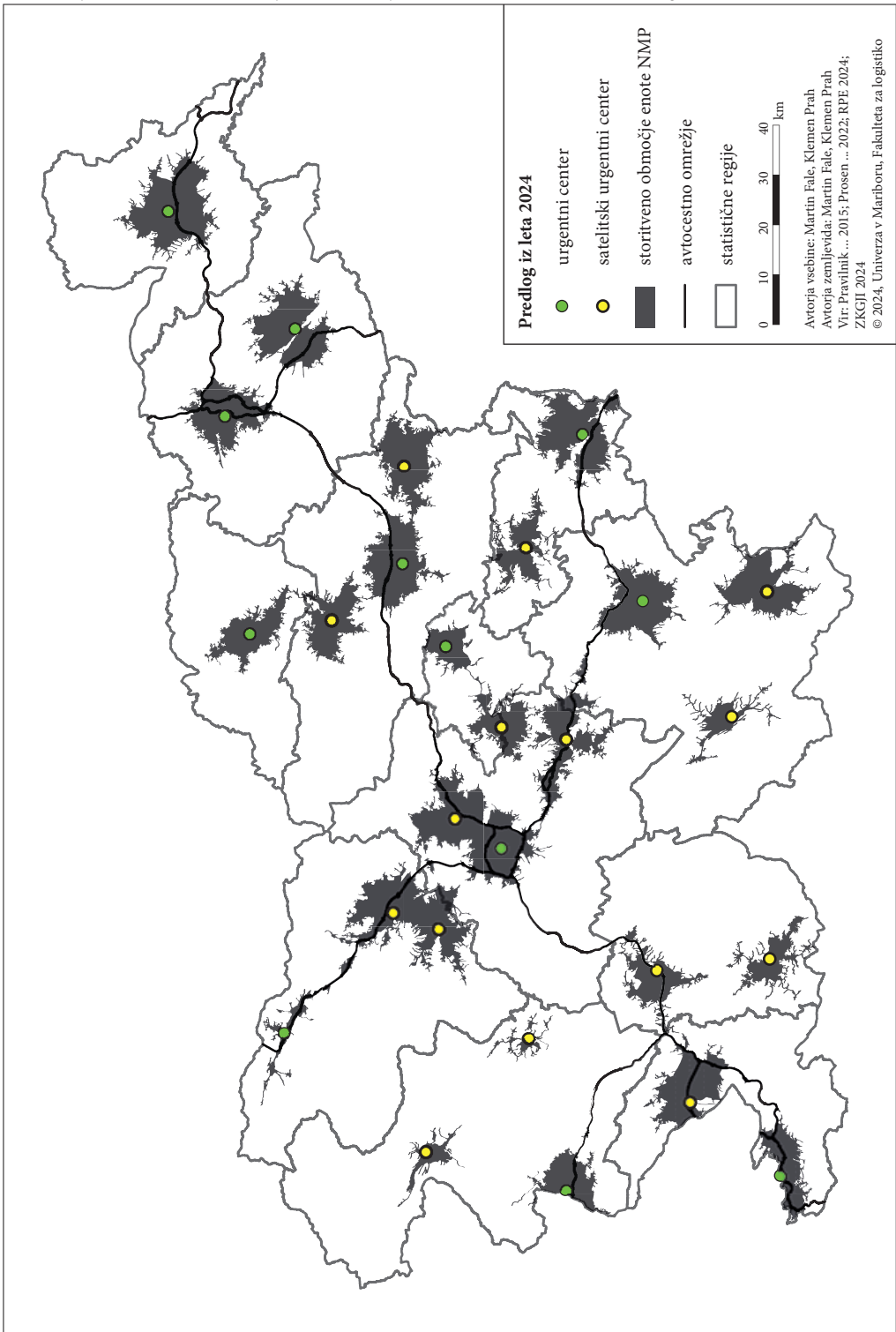
Pomembna razlika med predlogoma iz leta 2022 in 2024 je v tem, da je v predlogu iz leta 2024 predvideno še manjše število satelitskih urgentnih centrov, kar bi še dodatno poslabšalo dostopnost enot NMP. Po predlogu iz leta 2024 bi vzpostavili 12 urgentnih centrov in 15 satelitskih urgentnih centrov. V pomurski in koroški statistični regiji bi ostal le še en urgentni center, v podravski le še dva urgentna centra, v osrednjeslovenski in goriški statistični regiji pa bi ostala le še en urgentni in dva satelitska urgentna centra. Razporeditev enot NMP in njihovih storitvenih območij po predlogu iz leta 2024 je prikazana na sliki 3.

Če bi prerazporedili enote NMP skladno s predlogom iz leta 2024, bi se dostopnost urgentne zdravstvene oskrbe zmanjšala v vseh statističnih regijah (preglednica 2). Število enot NMP bi se najmanj zmanjšalo v primorsko-notranjski statistični regiji, in sicer za eno enoto. Najmanjši padec dostopnosti urgentne zdravstvene oskrbe bi zabeležila obalno-kraška statistična regija, in sicer 11,5 odstotne točke. Število enot NMP bi se najbolj zmanjšalo v savinjski, koroški ter gorenjski statistični regiji, in sicer za pet enot. Največji padec dostopnosti bi zabeležila koroška statistična regija, in sicer kar 49,8 odstotne točke. V Pomurju bi se dostopnost do hišnih naslovov zmanjšala za kar 34,9 odstotne točke in bi bila le 31,6-odstotna, kar bi pomenilo najslabšo dostopnost urgentne zdravstvene oskrbe izmed vseh statističnih regij. Glede na predlog iz leta 2024 bi naselja Ajdovščina, Vrhnika, Lendava, Slovenska Bistrica in Radlje ob Dravi ostala brez enote NMP. To bi zmanjšalo dostopnost enot NMP v osrednjeslovenski, goriški, pomurski, zasavski, podravski, savinjski in koroški statistični regiji v primerjavi s predlogom iz leta 2022.

Ob primerjavi razlike v dostopnosti do hišnih naslovov lahko opazimo, da bi se dostopnost v nekaterih statističnih regijah precej poslabšala, na Koroškem celo za skoraj 50 odstotnih točk. Če ima koroška

Slika 3: Storitvena območja enot NMP glede na predlog iz leta 2024. ► (str. 89)

Primerjava dostopnosti obstoječih enot nujne medicinske pomoči s predlogoma iz let 2022 in 2024



Preglednica 2: Rezultati analize dostopnosti enot NMP do hišnih naslovov glede na predlog iz leta 2024.

statistična regija	število hišnih naslovov	dostopnost do hišnih naslovov (obstoječe enote NMP) (v %)	dostopnost do hišnih naslovov (predlog iz leta 2022) (v %)	razlika (v odstotnih točkah)	razlika v številu enot NMP
posavska	27.742	71,6	47,9	-23,7	-2
osrednjeslovenska	111.231	76,6	62,1	-14,5	-4
primorsko-notranjska	16.058	67,7	53,0	-14,7	-1
goriška	38.400	56,9	36,3	-20,6	-2
pomurska	43.529	66,5	31,6	-34,9	-3
jugovzhodna Slovenija	49.396	64,4	43,7	-20,7	-4
obalno-kraška	32.314	70,7	59,2	-11,5	-3
zasavska	12.913	72,3	54,5	-17,8	-2
podravska	93.554	66,0	41,7	-24,3	-3
savinjska	72.061	73,8	42,7	-31,1	-5
koroška	17.872	82,6	32,8	-49,8	-5
gorenjska	50.791	80,0	53,0	-27,0	-5

statistična regija trenutno šest enot NMP, bi po predlogu iz leta 2024 tam ostala le še ena enota. Zgolj ukinitve enote NMP Radlje ob Dravi bi zmanjšala dostopnost v koroški regiji za kar 18,3 odstotne točke. Primerjava dostopnosti do hišnih naslovov med zdajšnjim stanjem in obema predlogoma reorganizacije enot NMP po statističnih regijah je prikazana na sliki 4.

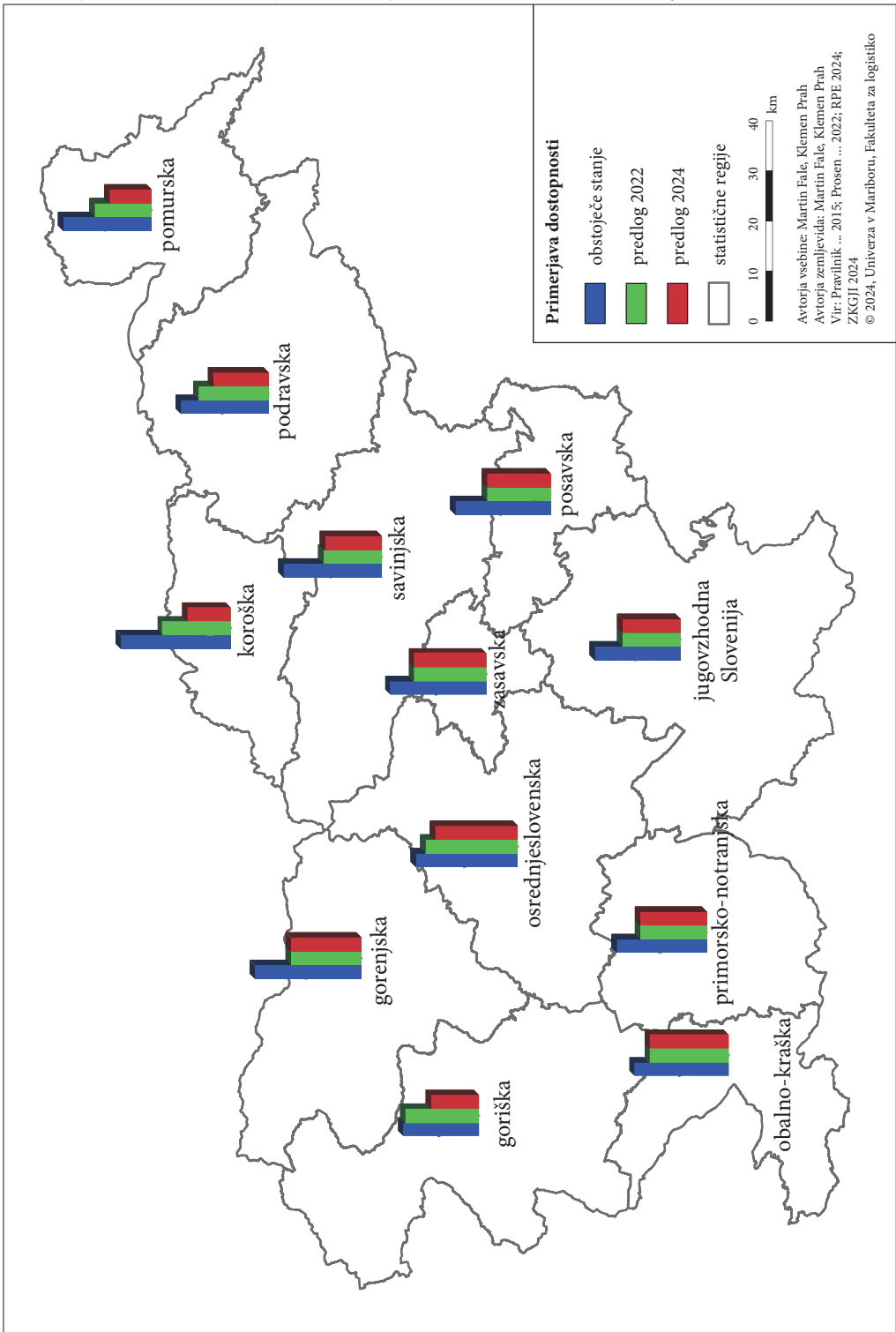
4 Sklep

Zmanjšanje števila enot NMP slabša dostopnost urgentne oskrbe, kar je v nasprotju z nekaterimi trditvami (Ministrstvo za zdravje 2024). Poudarjamo tudi, da zmanjšanje števila enot NMP pomeni, da te potrebujejo več časa, da pridejo do bolj oddaljenih lokacij. V raziskavi smo nedvoumno ugotovili, da bi se dostopnost enot NMP do hišnih naslovov zaradi zmanjšanja števila teh enot poslabšala, tako glede na predlog iz leta 2022 kot tistega iz leta 2024. Dandanes lahko enote NMP v 15 minutah prispejo do 70 % hišnih naslovov v Sloveniji, po sprejetju predlogov iz leta 2022 ali 2024 pa bi bil ta delež le še okoli 50 %. Na podlagi analize lahko upravičeno trdimo, da bi uvedba katere od obeh reorganizacij urgentnih centrov in satelitskih urgentnih centrov zmanjšala dostopnost urgentne zdravstvene oskrbe v Sloveniji.

Ena od pomanjkljivosti raziskave je osredotočenost na vidik dostopnosti do hišnih naslovov ter neupoštevanje števila prebivalcev oziroma njihove razporeditve. Precej hišnih naslovov, zajetih v točkovnem sloju hiš, je praznih. Prav tako nismo upoštevali vidika medicinskih standardov in kadrovskih zmožnosti

Slika 4: Primerjava dostopnosti enot NMP do hišnih naslovov po statističnih regijah med zdajšnjim stanjem in obema predlogoma reorganizacije. ► (str. 91)

Primerjava dostopnosti obstoječih enot nujne medicinske pomoči s predlogoma iz let 2022 in 2024



v zdravstvu. Možnost nadaljnje uporabe programskega orodja *ArcGIS Pro* na tem področju vidimo pri analizi delovanja NMP, kjer bi lahko na podlagi dejanskih podatkov o intervencijah enot NMP (Ločičnik, Koželj in Strauss 2019) prikazali razporeditev intervencij na nekem območju. Tako bi lahko ugotovili tako obremenjenost posameznih enot NMP kot tudi potrebe nekega območja po tovrstni oskrbi. V prihodnje bi lahko analizo dostopnosti izvedli na podlagi regionalizacije Slovenije v predlogu prenove sistema NMP iz leta 2022 (Prosen s sodelavci 2022).

5 Viri in literatura

- Dijkstra, E. W. 1959: A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik* 1. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01386390>
- Ločičnik, L., Koželj, A., Strauss, M. 2019: Dostopni časi ekipe nujne medicinske pomoči v zgornjeslovenski regiji. *Ujma* 33.
- Ministrstvo za zdravje, 2024. Ministrstvo za zdravje povečuje dostopnost do osebnega zdravnika in naslavlja potrebe pacienta. *Medmrežje*: <https://www.gov.si/novice/2024-02-15-ministrstvo-za-zdravje-povecuje-dostopnost-do-osebnega-zdravnika-in-naslavlja-potrebe-pacienta/> (14. 4. 2024).
- Pravilnik o službi nujne medicinske pomoči. *Uradni list Republike Slovenije* 81/2015, 93/2015. Ljubljana.
- Prosen, G., Pugelj, V., Rajapakse, R., Čander, D., Fink, A., Kralj, R., Petkovič, T., Prestor, J. 2022: Projekt celostne prenove sistema nujne medicinske pomoči v Sloveniji – jesen 2022. *Medmrežje*: <https://www.scribd.com/document/613316294/Elaborat-Projekt-Celoste-Prenove-Sistema-NMP-v-Sloveniji-Jesen-2022> (10. 2. 2024).
- Register prostorskih enot. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2024.
- Turk, M. 2024: »Če se to sprejme, gremo v čase, ko so pacienti umirali v naročjih zdravnikov«. *Medmrežje*: <https://n1info.si/novice/slovenija/ce-se-to-sprejme-gremo-v-case-ko-so-pacienti-umirali-v-narocjih-zdravnikov/> (10. 2. 2024).
- Zbirni kataster gospodarske javne infrastrukture. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2024.
- Zupanič, M. 2024: Po novem v rešilnem vozilu ne bo več zdravnika. *Medmrežje*: <https://www.delo.si/novice/slovenija/dezurni-zdravnik-bo-delal-drugace/> (20. 2. 2024).

DOSTOPNI PROSTORI ZA VSE – IZBOLJŠANJE DOSTOPNOSTI TURIZMA ZA INVALIDE V SREDNJI EVROPI

Blaž Barborič, Maja Baloh

Geodetski inštitut Slovenije

blaz.barboric@gis.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3024-2460>

maja.baloh@gis.si, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5811-0513>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610508885_08

UDK: 338.48-2-056.26(4-191.2)

IZVLEČEK

Dostopni prostori za vse – izboljšanje dostopnosti turizma za invalide v srednji Evropi

Dostopni turizem za invalide lahko pomembno prispeva k preobrazbi območij, zlasti podeželja, kjer ni prisotnega množičnega turizma. Razvoj dostopnega turizma za invalide ogroža pomanjkanje vključujočega prostorskega načrtovanja, ki upošteva potrebe invalidov za varno in samostojno gibanje in potovanje, še posebej v podeželskih regijah s pomanjkanjem storitev. Projekt programa sodelovanja Srednja Evropa, CE-Spaces4All, se ukvarja z izzivi, kot so pomanjkanje ozaveščenosti in sodelovanja ter potreba po standardiziranih podatkih in storitvah za boljšo dostopnost invalidov do turističnih lokacij. V ta namen smo v projektu na treh obmejnih pilotnih območjih zajeli podatke o dostopnih turističnih objektih, poteh in ovirah na poti ter razvili spletni pregledovalnik dostopnosti, kjer poleg podatkov o dostopnosti prikazujemo tudi oceno dostopnosti za posamezen podatkovni sloj.

KLJUČNE BESEDE

dostopni turizem, podeželska območja, prostorsko načrtovanje, invalidnost, geografski informacijski sistem, participacija

ABSTRACT

Accessible spaces for all – improving accessibility of tourism for persons with disabilities in Central Europe

Accessible tourism for persons with disabilities can make an important contribution to the transformation of areas, especially rural areas, where mass tourism is not present. The development of accessible tourism for persons with disabilities is undermined by the lack of inclusive spatial planning that takes into account the needs of persons with disabilities to move and travel independently, especially in rural and underserved regions. The Central Europe Cooperation Programme project, CE-Spaces4All, addresses challenges such as lack of awareness and participation, and the need for standardised data and services to improve accessibility of tourist sites for persons with disabilities. To this end, the project has developed an online web accessibility viewer in three pilot areas, where, in addition to accessibility data, we also display the accessibility assessment for each data layer.

KEY WORDS

accessible tourism, rural areas, spatial planning, disabilities, geographic information system, participation

1 Uvod

Učinkovito upravljanje prostora ima ključno vlogo pri ustvarjanju priložnosti za dostopni turizem s premišljenim odpravljanjem ovir. Projekt *CE-Spaces4All* obravnava ključne ovire za invalide: pomanjkanje ozaveščenosti dostopnega turizma, zmogljivosti in sodelovanja medsektorskih zainteresiranih strani na več ravneh za teritorialno načrtovanje dostopnega turizma za invalide, pomanjkanje vključenosti invalidov, pomanjkanje standardiziranih podatkov za načrtovanje dostopnosti na podlagi dokazov, pomanjkanje ustreznih storitev za invalide za samostojna turistična potovanja.

Javni organi, turistični sektor in invalidi iz sedmih držav: Slovenije, Hrvaške, Madžarske, Avstrije, Češke, Poljske in Belgije, sodelujejo v treh obmejnih pilotnih območjih Srednje Evrope, in sicer na obmejnem pilotnem območju Slovenije, Hrvaške in Madžarske (1), Avstrije in Češke (2) ter Poljske (3). Projektne aktivnosti se izvajajo participativno, s sodelovanjem javnih ustanov, odločevalcev, deležnikov s področja turizma in invalidov s ciljem izboljšanja pogojev za razvoj dostopnega turizma.

Podatke o ovirah v prostoru za dostopnost do turističnih območij za gibalno ovirane osebe, slepe in slabovidne ter gluhe in naglušne prikazujemo v spletnem pregledovalniku dostopnosti, ki je z vizualizacijo ovir pomemben pripomoček tudi za načrtovalce politik. Rezultat njegove uporabe v obmejnih pilotnih območjih bo katalog ovir. To bo osnova za razvoj storitev in orodij za podporo pri samostojnem potovanju invalidov, kot so zemljevidi dostopnosti in potovalni načrti, kot tudi za pripravo akcijskih načrtov za dolgoročno teritorialno sodelovanje na področju izboljšanja dostopnosti v treh obmejnih pilotnih območjih. Izboljšano sodelovanje zainteresiranih strani bo posledično vodilo k učinkovitejšemu upravljanju politik in teritorialnega načrtovanja v okviru dostopnega turizma, pa tudi k boljšemu javnemu upravljanju.

Cilj tega prispevka je predstaviti uvodne aktivnosti za izboljšanje dostopnosti invalidov s poudarkom na metodološkem pristopu, in sicer (1) določitev območja zajema podatkov in izbranih turističnih ponudnikov, (2) zajem podatkov (na terenu z invalidi) in (3) priprava spletnega pregledovalnika dostopnosti. Aktivnosti potekajo v treh pilotnih območjih in znotraj teh v petih območjih zajema podatkov.

2 Metode dela

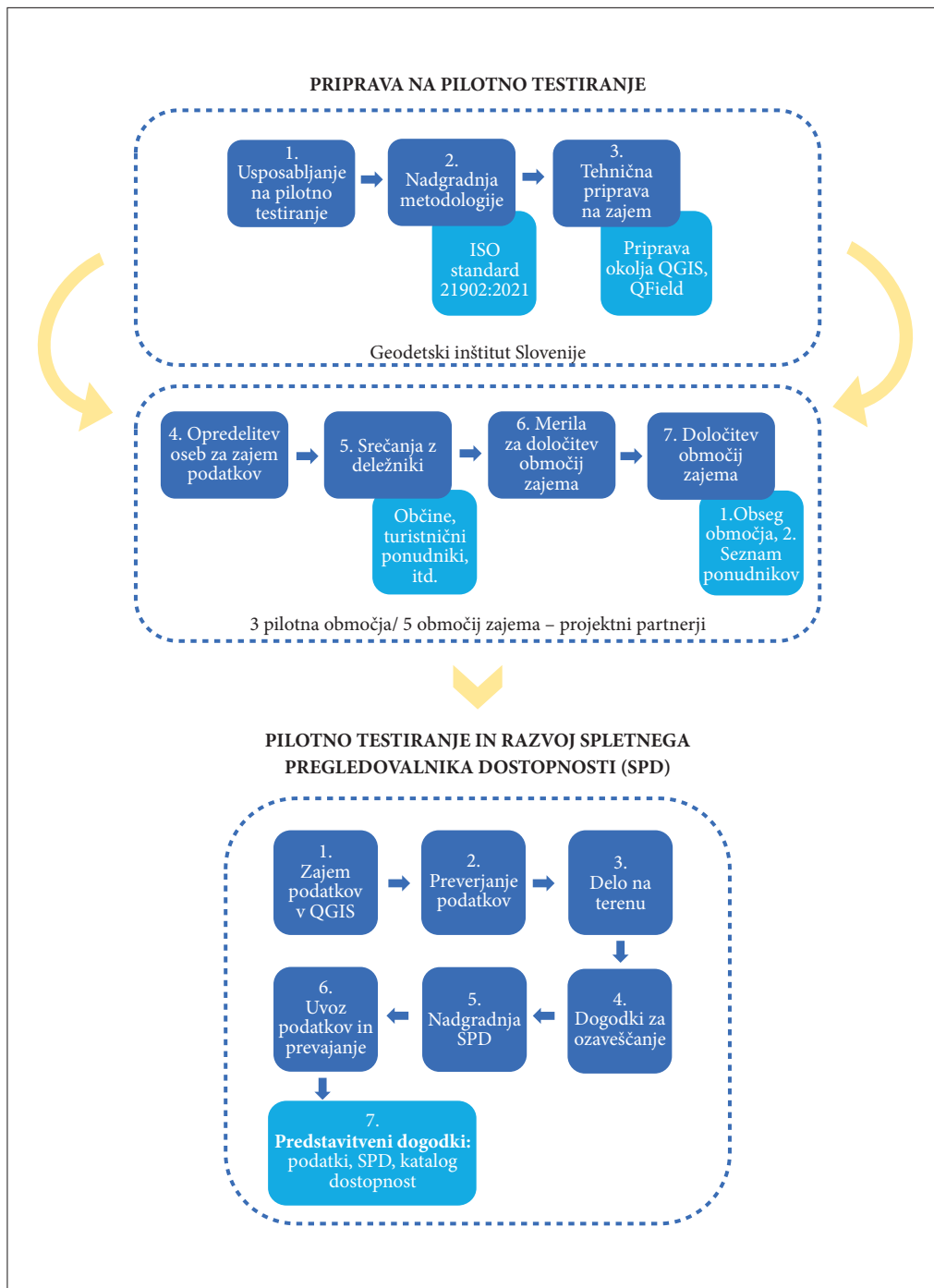
Pri izvajanju projekta sledimo načelom vključujočega pristopa – dostopnost prostora za vse (Stafford, Vanik in Bates 2022). Sprejemanje načel vključujočega oblikovanja zagotavlja, da so prostor in izdelki dostopni najširšemu krogu posameznikov. Invalidi so vključeni v proces načrtovanja, zbiranja in evalvacije podatkov s ciljem doseganja bolj vključujoče in enakopravne družbe, kjer koristi enim ciljnim skupinam ne izključujejo ostalih ciljnih skupin. Na projektni ravni spodbujamo zbiranje podatkov za tri ranljive skupine: slepe in slabovidne osebe, gibalno ovirane osebe ter gluhe in naglušne osebe, vendar izbor vseh ciljnih skupin ni obvezen. V Sloveniji so bili podatki zbrani za vse tri ranljive skupine.

Metode dela za izboljšanje dostopnosti invalidov do turističnih območij smo razdelili v dve fazi (slika 1).

Prva faza, imenovana »Priprava na pilotno testiranje«, je sestavljena iz dveh delov, ki se izvajata sočasno. Prvi del (1.–3. korak) vključuje splošno tehnično pripravo za način zajemanja podatkov, razvoj metodologije in izobraževalna usposabljanja za projektne partnerje. Ta del je pripravil Geodetski inštitut Slovenije s sodelovanjem vseh partnerjev.

Drugi del (koraki 4–7) vključuje delo, ki so ga pripravili projektne partnerji z namenom opredelitve območij zajema podatkov in turističnih ponudnikov. Projekt vključuje 3 obmejna pilotna območja oziroma 5 območij zajema – eno območje v vsaki obmejni državi – skupaj z opredelitvijo obsega zajema, določitvijo ekipe in dejavnosti ozaveščanja na pilotnih območjih.

Območje zajema za vsako državo je izbrano glede na interese turističnih ponudnikov, podporo, potrebe in upoštevanje občin, invalidskih organizacij in turističnih organizacij ter opredeljena merila za obseg območij zajema. Izbrana območja zajema lahko vključujejo dostopne, potencialno dostopne in nedostopne lokacije.



Slika 1: Prikaz procesa za izboljšanje dostopnosti invalidov do turističnih območij.

Druga faza je namenjena pilotnemu testiranju in razvoju spletnega pregledovalnika dostopnosti, ki vključuje zajem podatkov v QGIS, preveritev podatkov, zbiranje in preverjanje podatkov na terenu, vzpostavitev spletnega pregledovalnika in izvedbi dogodkov za ozaveščanje.

Posamezni koraki obeh faz so podrobneje predstavljeni v nadaljevanju.

3 Faza 1: Priprava na pilotno testiranje

3.1 Usposabljanje za pilotno testiranje

Pred začetkom zajema podatkov je bilo potrebno projektne partnerje usposobiti za delo s programsko opremo QGIS (Medmrežje 1), ki je bila uporabljena za pripravo podatkov v pisarni in odprtokodno aplikacijo GIS QField (Medmrežje 2), ki se je uporabljala za zajemanje podatkov na terenu. Izvedena so bila tri usposabljanja po pilotnih območjih za predstavitev tehnologije ter razpravo o metodologiji in predlaganih območjih zajema podatkov v Murski Soboti (Slovenija), Znojmu (Češka) in v mestu Rzeszow (Poljska).

3.2 Nadgradnja metodologije za zajem podatkov za izboljšanje dostopnosti invalidov

Temeljni vsebinski korak je bila opredelitev metodologije za zajem podatkov za izboljšanje dostopnosti invalidov. Metodologija je bila oblikovana na podlagi podobnega slovenskega projekta Omogočanje multimodalne mobilnosti oseb z različnimi oviranostmi (Medmrežje 3), ki poteka že več let, vendar jo je bilo potrebno prilagoditi in nadgraditi v kontekstu turizma in vključujočega okolja. Cilj posodobljene metodologije je zagotoviti digitaliziran postopek zajema podatkov, preverjanja zajetih podatkov na terenu in uporabe podatkov.

Izvedenih je bilo več sestankov s projektnimi partnerji, v okviru katerih se je metodologijo izpopolnilo. Posodobljena metodologija je temeljila na mednarodnem standardu ISO 21902:2021 Turizem in z njim povezane storitve – Dostopni turizem za vse – Zahteve in priporočila (Medmrežje 4).

V nadgradnji metodologije smo izvedli spremembe pri zajemu objektov namenjenih turističnim dejavnostim. Te vključujejo hotele, apartmaje, kampje, restavracije, turistične informacijske centre in kulturne ustanove, kot so muzeji, galerije, gledališča ter javna stranišča. Zajemali smo obsežen spekter atributov, ki so razporejeni po več sklopih in omogočajo podrobnejši opis dostopnosti posameznega objekta. V preglednici 1 so predstavljeni podatkovni sloji in atributi, pri katerih smo naredili največ sprememb.

Prav tako se je izboljšala metodologijo zajema posameznih poti. Poleg pločnikov, poti brez pločnikov, prehodov za pešce in kolesarskih stez smo dodali še poti, ki se pojavljajo v naravnem okolju, vključno z utrjenimi potmi ter brezpotji v naravi. Pri sloju 'Interesne točke' se zbirajo tudi informacije o razglednih točkah in informacijskih tablah, kar uporabnikom omogoča bolj celovito informiranost o znamenitostih in dostopnosti do interesnih točk.

3.3 Tehnične priprave za zajem podatkov

Priprave so obsegale naslednje korake:

- 1 Opredelitev tehnične opreme (minimalne zahteve – osebni računalnik z velikim zaslonom, mobilni telefon z velikim zaslonom) za zajem podatkov.
- 2 Priprava QGIS projekta za projektne partnerje (Medmrežje 2) z izdelanimi prostorskimi sloji, atributi, itd.
- 3 Priprava videoposnetkov priprave podatkov v QGIS.

- 4 Navodila za delo v *QField* (Medmrežje 3) in njegovo povezavo s programom *QGIS* (vnos atributov, objektov in prenos podatkov).
- 5 Navodila za delo na terenu.

3.4 Opredelitev oseb za zajem podatkov in ranljivih skupin

Člani posameznih skupin za zajem podatkov so projektni partnerji, pridruženi partnerji in zunanji sodelavci. Ekipa vključuje GIS strokovnjake in invalide, ki so na terenu zajemali dostopne poti, objekte in ovire.

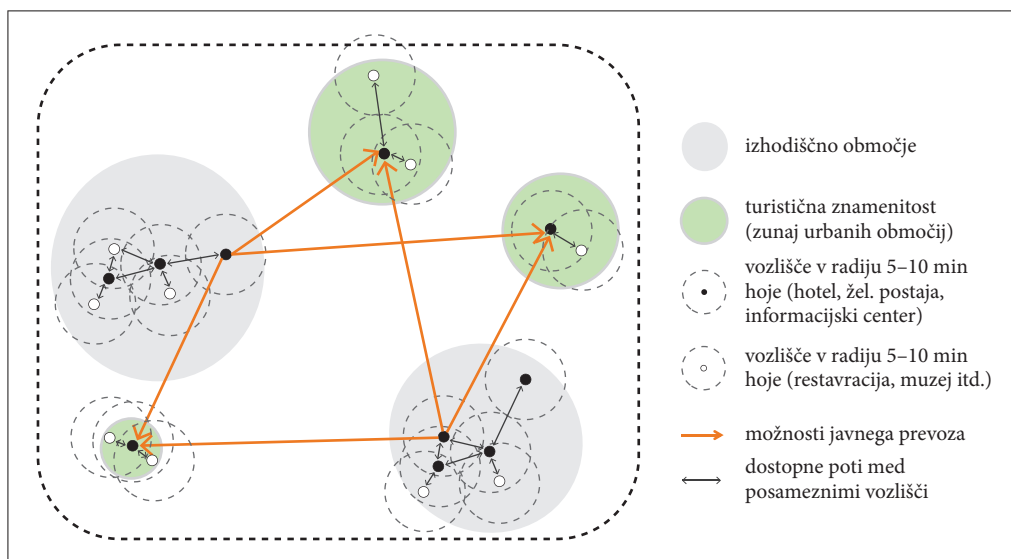
3.5 Izvedba srečanj z lokalnimi deležniki

Srečanja z lokalnimi deležniki (turističnimi ponudniki, občinami, regijami, invalidskimi organizacijami, turističnimi organizacijami itd.) so bistvenega pomena za zagotavljanje povratnih informacij o projektu ter pridobivanje prispevkov deležnikov. Vključevanje različnih deležnikov na začetku procesa je koristno za izboljšanje odločanja, prepoznavanje različnih pogledov ter krepitev zaupanja, podpore in sodelovanja.

Srečanja so bistvena tudi za pridobivanje informacij o možnem sodelovanju v okviru projekta (skupno oblikovanje izdelkov) in za pridobitev informacij o dostopnosti območja. Projekt je predvidel raznolike pristope za izvedbo srečanj, vključno s formalnimi predstavitvami projekta, neformalnimi obiski na terenu ali spletnimi srečanji.

3.6 Merila za določitev območij zajema podatkov

Pri zajemanju podatkov standardizirana merila zagotavljajo, da so podatki iz različnih virov in držav združljivi, da jih je med seboj mogoče primerjati. Definirana merila imajo v projektu pomembno vlogo pri opredelitvi številčnosti vseh zajetih podatkov, opredeljenih v metodologiji zajema in obsežnosti območja zajema (slika 2).



Slika 2: Shematski prikaz določitve območij zajema.

Preglednica 1: Primerjava atributov metodologij za zajem podatkov za izboljšanje dostopnosti invalidov.

metodologija »omogočanje multimodalne mobilnosti oseb z različnimi oviranostmi«		metodologija »Spaces for All«	
ime sloja: objekti		ime sloja: turistični objekti	
osnovne informacije o objektu		osnovne informacije o objektu	
<i>naziv atributa</i>	<i>vrednost</i>	<i>naziv atributa</i>	<i>vrednost</i>
dejanska raba opis* prevzeto iz registra nep.	<ul style="list-style-type: none"> • oskrbovano stanovanje • bivalne enote (domovi za starejše) • poslovni prostor javne uprave • trgovski del stavbe • bencinski servis • del stavbe za potniški promet • del stavbe za kulturo in razvedrilo • muzej in knjižnica • del stavbe za izobraževanje in znanstveno raziskovalno delo • del stavbe za zdravstveno oskrbo • športna dvorana • del stavbe za opravljanje verskih obredov • del stavbe za pokopališko dejavnost • skupne sanitarije • šola, vrtec • bolnica, zdravstveni dom • del stavbe za pastoralno dejavnost • zdravilišče • banka, pošta, zavarovalnica • konferenčna ali kongresna dvorana • trgovski del stavbe na bencinskih servisih 	tip	<ul style="list-style-type: none"> • namestitev • restavracija • turistični info center • kulturna ustanova • sanitarije • drugo
podatki o dostopnosti vhoda		podatki o dostopnosti vhoda	
<i>naziv atributa</i>	<i>vrednost</i>	<i>naziv atributa</i>	<i>vrednost</i>
• omogočen dostop do vsaj enega vhoda		• dostopnost vhoda	

Dostopni prostori za vse – izboljšanje dostopnosti turizma za invalide v srednji Evropi

<i>naziv atributa</i>	<i>vrednost</i>	<i>naziv atributa</i>	<i>vrednost</i>
		<ul style="list-style-type: none"> • vrsta dostopa do vhoda 	<ul style="list-style-type: none"> • v istem nivoju • klančina • dvizna ploščad • dvigalo na stopnicah • dvizni sedež
		fotografija vhoda	
sanitarije		sanitarije	
<i>naziv atributa</i>	<i>vrednost</i>	<i>naziv atributa</i>	<i>vrednost</i>
<ul style="list-style-type: none"> • označbe javnih sanitarij • evro ključavnica • 24-urna dostopnost 		<ul style="list-style-type: none"> • evro ključavnica • odpiralni čas stranišča • širina straniščnih vrat • oprijemala (fiksna in/ ali zložljivo) • prostor za kolena pod umivalnikom • opomba • fotografija stranišča 	
/		soba	
<i>naziv atributa</i>	<i>vrednost</i>	<i>naziv atributa</i>	<i>vrednost</i>
		<ul style="list-style-type: none"> • dostopna soba • dostopen balkon • fotografija sobe 	
/		kopalnica v sobi	
<i>naziv atributa</i>	<i>vrednost</i>	<i>naziv atributa</i>	<i>vrednost</i>
		<ul style="list-style-type: none"> • dostop z invalidskim vozičkom do stranišč – prostor za manevriranje • širina straniščnih vrat • oprijemala (fiksna in/ ali zložljivo) • prostor za kolena pod umivalnikom • zložljivi sedež v tuš kadi • fotografija kopalnice 	
/		recepција / info pult	
<i>naziv atributa</i>	<i>vrednost</i>	<i>naziv atributa</i>	<i>vrednost</i>
		<ul style="list-style-type: none"> • dostopen recepcijski pult • fotografija recepcije 	
/		jedilnica	
<i>naziv atributa</i>	<i>vrednost</i>	<i>naziv atributa</i>	<i>vrednost</i>
		<ul style="list-style-type: none"> • dostopen prostor jedilnica • fotografija jedilnice 	

Merila za opredelitev obsega izhodiščnih območij in interesnih točk (turističnih znamenitosti) so bila v projektu naslednja:

- 1 Izbira 2–3 večjih urbanih območij v pilotni regiji, po možnosti z dostopnim javnim prevozom (železnica) – izhodiščna območja.
- 2 Izbira 5–7 vozlišč znotraj izhodiščnih območij, kot so nastanitveni objekti, gostinski objekti, turistični informacijski centri, muzeji, itd. v okolici železniške postaje ali dostopnega hotela).
- 3 Preverjanje dostopnosti javnega prevoza med urbanih območji na podlagi linij javnega prevoza.
- 4 Izbira 3–6 turističnih znamenitosti zunaj urbanih območij. Zaželeno je vključenost tudi naravnih znamenitosti.

3.7 Določitev območij zajema

Projektne partnerji so v vsaki državi določili izhodiščna območja, in turistične znamenitosti znotraj posameznih pilotnih obmejnih območij ter pri tem upoštevali interese lokalnih turističnih ponudnikov (1), potrebe lokalnih skupnosti (2) in definirana projektna merila za opredelitev obsega območja zajema. Vsaka projektna skupina je pripravila procesni načrt za zajem za svoje območje. Na slovenskem obmejnem območju sta bili za izhodiščno območje izbrani Murska Sobota in Moravske toplice, ki razpolagata z bolj dostopnostim javnim prevozom in več nastanitvenimi možnostmi. Turistične znamenitosti zunaj urbanih središč so bila izbrana po pogovoru s turističnimi ponudniki, predstavniki lokalnih skupnosti in invalidskimi organizacijami, kot so jezera, doživljajski parki, razgledni stolpi, itd.

4 Faza 2: Pilotno testiranje in razvoj spletnega pregledovalnika dostopnosti

4.1 Zajem podatkov v QGIS

Na podlagi organiziranih usposabljanj o pripravi podatkov v vsaki pilotni regiji, so projektne partnerji pisarniško zbirali podatke v QGIS orodju z uporabo posnetkov *ESRI Imagery* (Medmrežje 5), *Google Street View* (Medmrežje 6) in *OpenStreetMap* (Medmrežje 7). Uporabljena metodologija zagotavlja kakovost, natančnost in doslednost podatkov v postopku zajema podatkov.

Podatki so bili zajeti za naslednje podatkovne sloje:

- turistični objekti (nastanitveni objekt, gostinski objekt, turistični informacijski center, kulturni objekt, javno stranišče, drugo),
- parkirišča,
- parkirna mesta za invalide,
- postaje in postajališča javnega prevoza (avtobusni/ železniški prevoz),
- druge zanimive točke (klopi / počivališče, razgledna točka, informacijska tabla),
- ovire,
- pešpoti,
- zvočni semaforji,
- talni taktilni vodilni sistem (TTVS).

4.2 Preverjanje podatkov

Po zajemu podatkov so bili podatki pregledani v pisarni. Preverilo se je topološko pravilnost zajema in atributno popolnost podatkov, predpisano z metodologijo zajema, kot tudi primerljivost podatkov z drugimi pilotnimi območji. V primeru dopolnitev so bila izvedena spletna srečanja s projektnimi partnerji.

4.3 Preverjanje in zbiranje podatkov na terenu

Podatki, zajeti v pisarni z *QGIS*, so bili naloženi v mobilno aplikacijo *QField* ter preverjeni na terenu z uporabo iste aplikacije (sliki 3 in 4) in z *OpenStreetMap* (Medmrežje 7) kot osnovnim zemljevidom. Dodani so bili tudi podatki, ki jih v pisarni ni bilo mogoče zajeti. Pri delu so bile uporabljene mobilne aplikacije za merjenje naklona ter analogni metri za preverjanje razdalj. Vse podatkovne objekte se je evidentiralo in fotografiralo.

5 Rezultati

5.1 Dogodki za ozaveščanje

Projektne partnerji so imeli na razpolago različne možnosti, kako pripraviti dogodke za lokalne deležnike za ozaveščanje dostopnosti.

V času pilotnega testiranja se lahko organizira dogodek za ozaveščanja oziroma javno zajemanje podatkov s povabljenimi deležniki (zaposleni na lokalnih občinah, člani lokalnih invalidskih organizacij, turistični ponudniki, itd.). Zainteresirani se lahko pridružijo pri delu poti v času pilotnega testiranja ali pa se z njimi med zajemom organizira terenski sestanek. Cilj tovrstne organizacije dogodkov je, da se deležnikom omogoči vpogled v proces zajemanja podatkov in da si ogledajo svoje lokalno

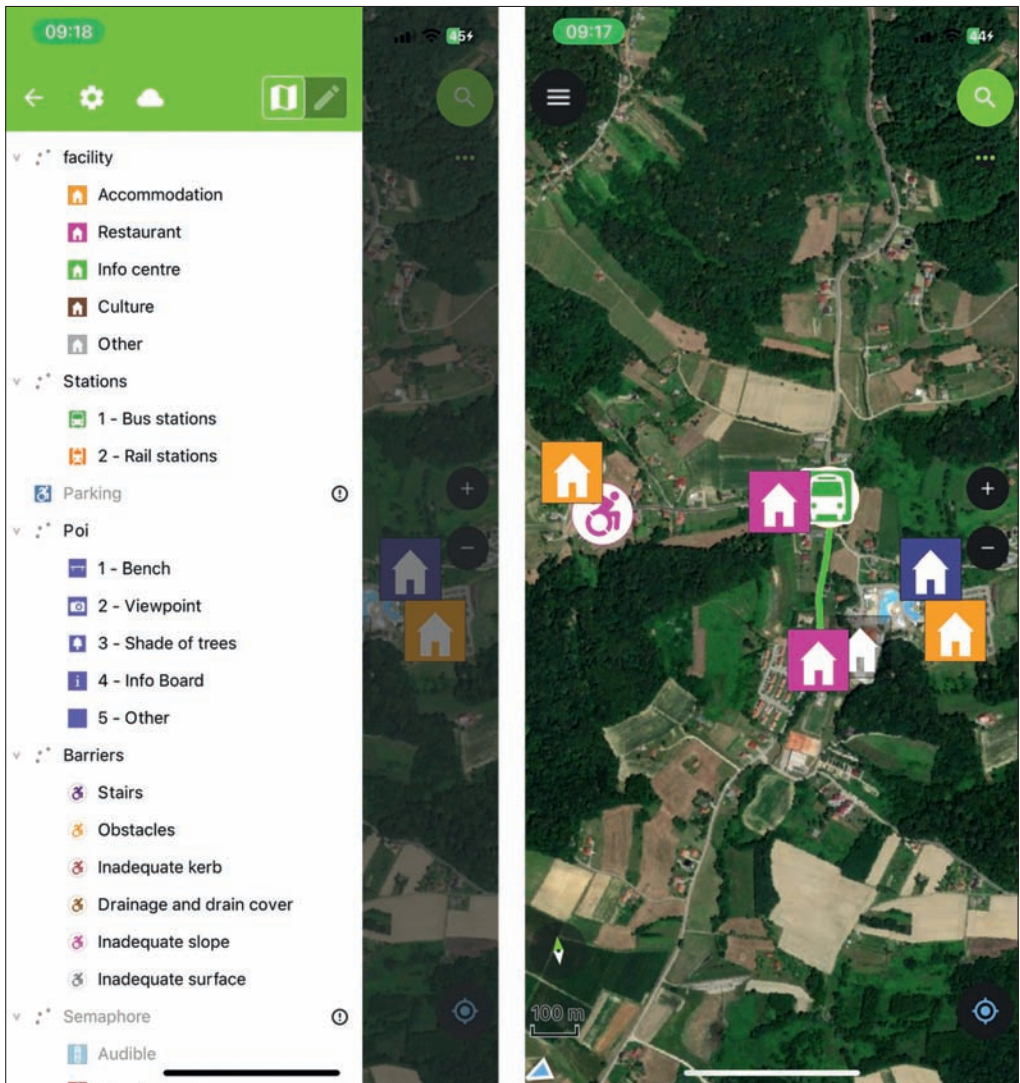


JANI DEMŠAR

Slika 3: Zajem podatkov na terenu z uporabo mobilne aplikacije *QField*.

območje z druge perspektive, skozi oči invalidov. Občine in turistični ponudniki pridobijo informacije o tem, kje imajo invalidi težave z dostopnostjo in kaj je mogoče izboljšati v njihovih objektih/prostorih. Prav tako so srečanja namenjena razpravam o prihodnjih načrtih za dostopnost in projektnim aktivnostim in možnostih sodelovanja v naslednjih fazah ter začetku skupnega sodelovanja za pripravo dostopnih izdelkov in storitev, ki bo rezultat drugega dela projekta.

Druga predlagana možnost je izvedba predstavitvenega dogodka po terenskem delu, kjer se predstavi rezultate pilotnega testiranja (ovire, objekte, itd.) lokalnim skupnostim, turističnemu sektorju, invalidom in invalidskim organizacijam.



Slika 4: Prikaz mobilne aplikacije QField za zajemanje in preverjanje podatkov na terenu.

5.2 Nadgradnja spletnega pregledovalnika dostopnosti

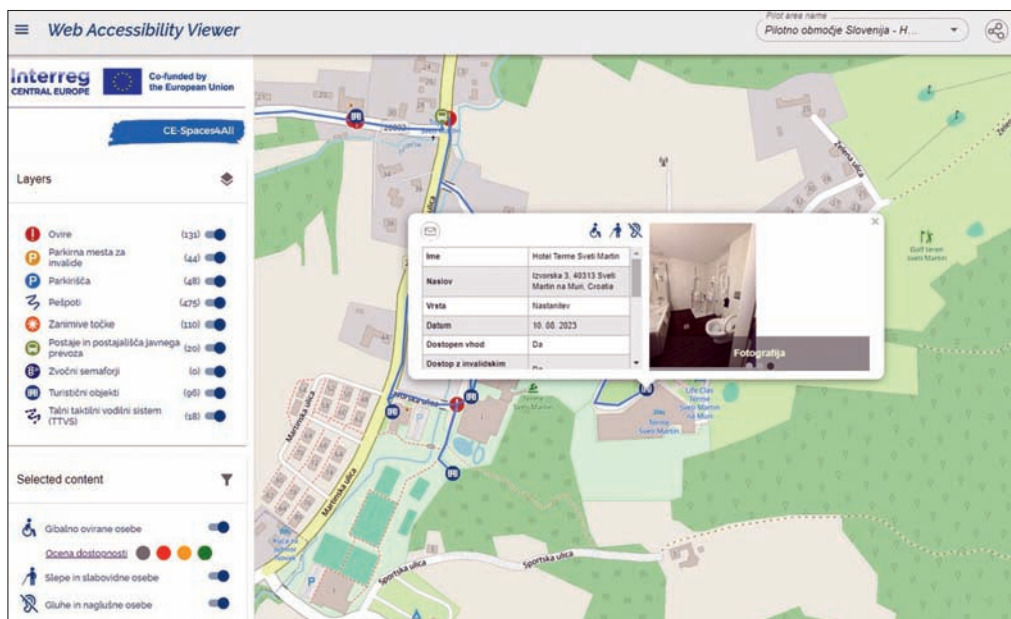
Geodetski inštitut Slovenije je nadgradil SPD (<https://spaces4all.gis.si/>), ki je bil v osnovi razvit v okviru slovenskega projekta Omogočanje multimodalne mobilnosti oseb z različnimi oviranostmi (Medmrežje 3). Nadgradnja je bila usmerjena za namen uporabe načrtovalcev politik in turističnega sektorja, za pregled dostopnih turističnih lokacij, objektov in ovir v pilotnih območjih ter za ocenjevanje turističnih objektov (slika 5). SPD uporabnikom omogoča brezplačno vizualizacijo in prenos prostorskih podatkov dostopnosti za tri ciljne skupine invalidov. Predstavlja s podatki podprto platformo za evidentiranje arhitektonskih, komunikacijskih in drugih ovir, za razvoj turističnih strategij in teritorialnega načrtovanja, za razvoj orodij in storitev za invalide. Z naborom podatkov v šestih evropskih državah omogoča primerjanje rezultatov in prikaz dobrih praks dostopnosti zunaj večjih urbanih središč na evropski ravni ter izmenjavo znanja.

Z vklopom in izklopom prostorskih slojev se na karti prikažejo točkovni in linijski objekti. Uporabnik lahko izbere tudi zeleno kartografsko podlago (*OpenStreetMap, ESRI Google Imagery*).

Ob izboru objekta na zemljevidu se prikaže tabela z atributi (točkovnimi ali tekstovnimi) in fotografije objekta. Prikazane so ciljne skupine, za katere se bili podatki zajeti, ter možnost komentiranja uporabnikov pod objektom, s poudarkom na izboljšanju participacije.

Pod dodatne vsebine je vključena ocena dostopnosti za osebe na invalidskih vozičkih za turistične objekte in postaje javnega prevoza, ki vključuje štiri kategorije: ni dostopno za invalidske vozičke, delno dostopno za invalidske vozičke, popolnoma dostopno za invalidske vozičke ter dostopnosti ni mogoče oceniti.

Zajeti podatki projektnih partnerjev si bili v obliki shapefile (SHP) datotek uvoženi v podatkovno bazo projekta, ki je osnova SPD. V bazi so bili podatki ponovno urejeni in strukturirani v celoto. SPD je pripravljen v sedmih evropskih jezikih, zato so projektni partnerji poskrbeli za tekstovne prevode, atributivne podatke in specifične opombe objektov pa so urejali v administrativnem načinu SPD, ki je bil razvit posebej za namen urejanja podatkov.



Slika 5: Prikaz SPD in njegovih funkcionalnosti.

6 Sklep

Projekt *CE-Spaces4All* je pomemben korak k izboljšanju dostopnosti turizma za invalide v Srednji Evropi. S svojim celostnim pristopom, ki združuje javne organe, turistične organizacije in invalide, je projekt uspel identificirati ključne deležnike in ovire ter razviti metodologijo za njihovo odpravo.

Namen projekta je zagotoviti, da so turistična območja v regiji dostopna in vključujoča za vse. Z usposabljanji, razvojem metodologije in terenskim delom smo uspeli zbrati pomembne podatke o dostopnosti in ovirah ter jih vključiti v SPD. V obdobju enega leta nameravamo zbrane podatke ponovno pregledati na terenu in jih po potrebi dopolniti. Podatke posameznih držav bomo primerjali z vidika dostopnosti in izpostavili primere dobrih praks. Trenutni rezultati so osnova za razvoj dostopnih storitev v pilotnih območjih in nadaljnjo pripravo akcijskih načrtov za izboljšanje dostopnosti turizma, pri čemer je poudarjeno sodelovanje z lokalnimi deležniki kot ključnim dejavnikom za trajnostni uspeh projekta. Le skupno delo lahko zagotovi trajne spremembe in izboljša dostopnost turističnih destinacij.

V prihodnosti je potrebno nadaljevati z aktivnostmi za izboljšanje dostopnosti in vključevanjem invalidov v turizem že v fazi načrtovanja ter nadaljevati z ozaveščanjem o priložnostih dostopnega turizma. To bo omogočilo ne le enakopravno uživanje turističnih doživetij za vse, ampak tudi prispevalo k socialni koheziji in razvoju regije kot celote.

7 Viri in literatura

Medmrežje 1: <https://qgis.org/> (22. 2. 2024).

Medmrežje 2: <https://qfield.org/> (22. 2. 2024).

Medmrežje 3: <https://www.dostopnost-prostora.si/> (22. 2. 2024).

Medmrežje 4: <https://www.iso.org/standard/72126.html> (22. 2. 2024).

Medmrežje 5: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=10df2279f9684e4a9f6a7f08febac2a9> (22.2.2024).

Medmrežje 6: <https://www.google.com/streetview/> (22. 2. 2024).

Medmrežje 7: <https://www.openstreetmap.org/> (22. 2. 2024).

Renar, R., Demšar, J., Lovrič, M., Janežič, M., Žnidaršič, H. 2022: Omogočanje multimodalne mobilnosti oseb z različnimi oviranostmi. Končno poročilo. Geodetski inštitut Slovenije. Ljubljana.

Stafford, L., Vanik, L. in Bates, L. K. 2022: Disability Justice and Urban Planning. *Planning Theory & Practice* 23-1: 101–142. DOI: <https://doi.org/10.1080/14649357.2022.2035545>

POVEZOVANJE PROSTORSKIH BAZ ZA OMOGOČANJE MOBILNOSTI RAZLIČNO OVIRANIH OSEB

Jani Demšar, Marina Lovrić

Geodetski inštitut Slovenije

jani.demsar@gis.si, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5519-1960>

marina.lovric@gis.si, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6047-5985>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610508885_09

UDK: 711.4-056.26

91:659.2:004

IZVLEČEK

Povezovanje prostorskih baz za omogočanje mobilnosti različno oviranih oseb

V današnjem hitro razvijajočem se svetu, kjer urbanizacija in demografske spremembe prinašajo velike izzive, med drugim na področju dostopnosti in trajnostne mobilnosti, se mesta usmerjajo v uporabo naprednih tehnologij s ciljem izboljšati kakovost življenja vseh prebivalcev. Projekt »Omogočanje multimodalne mobilnosti oseb z različnimi oviranostmi« obravnava prav te izzive in združuje tehnološki napredek z interdisciplinarnim sodelovanjem, s ciljem izboljšati mobilnosti oseb z različnimi invalidnostmi. V prispevku je predstavljena vloga geografskega informacijskega sistema (GIS) kot orodja za identifikacijo in kartiranje fizičnih ovir v prostoru. Digitalne vezi med različnimi podatkovnimi bazami omogočajo celovit pregled nad prostorskimi izzivi in spodbujajo oblikovanje politik, ki so bolj usmerjene k ustvarjanju vključujočih, dostopnih in demokratičnih prostorov.

KLJUČNE BESEDE

mobilnost, osebe z invalidnostjo, podatkovni model, GIS, trajnostna pametna mesta, podatkovne baze

ABSTRACT

Interconnecting spatial databases to enable the mobility of people with disabilities

In today's rapidly evolving world, where urbanisation and demographic change bring major challenges, cities are evolving into smart cities that use technology to improve the quality of life of their citizens. The project »Enabling Multimodal Mobility for People with Various Disabilities« addresses these very challenges and combines technological innovation with interdisciplinary cooperation to improve the mobility of people with various disabilities. The paper presents the role of Geographical Information Systems (GIS) as a tool for identifying and mapping physical barriers in space. Digital links between different databases allow for a comprehensive overview of spatial challenges and promote policy-making that is more oriented towards creating inclusive, accessible and democratic spaces.

KEY WORDS

mobility, persons with disabilities, data model, GIS, sustainable smart cities, databases

1 Uvod

V dandanašnjem hitro razvijajočem se tehnološkem okolju se koncept mestnega življenja preobraža (Caragliu, Del Bo in Nijkamp 2011). Podatki Združenih narodov (ZN) kažejo, da je svetovno prebivalstvo v sredini novembra 2022 doseglo osem milijard, pri čemer se pričakuje, da bo do leta 2050 naraslo na 9,7 milijarde (Združeni narodi 2022). Projekcije predvidevajo, da bo do leta 2050 kar 68 % svetovnega prebivalstva živelo v mestih (Združeni narodi 2019). Trend urbanizacije spremlja tudi demografsko staranje prebivalstva, kar prinaša povečanje števila ljudi z različnimi oblikami invalidnosti. Ocenjuje se, da se bo število ljudi nad 65 let s 761 milijonov v letu 2021 povečalo na 1,6 milijarde do leta 2050 (Združeni narodi 2022). Na svetu živi približno 1,3 milijarde ljudi z eno od oblik invalidnosti, kar je 16 % svetovnega prebivalstva (Svetovna zdravstvena organizacija 2022). Ob upoštevanju števila starejših oseb in oseb z invalidnostjo je jasno, da več kot 60 % svetovnega prebivalstva potrebuje prilagojen in odprti javni prostor. Odprti javni prostor razumemo kot prostor, ki je dostopen in uporaben za širšo javnost, ne glede na njihovo starost, spol, etnično pripadnost, socialno-ekonomski status ali oviranost. To je prostor, kjer se ljudje lahko srečujejo, družijo, sodelujejo v javnih aktivnostih ali preživljajo prosti čas (Gehl 2011). Ustvarjanje prostorov, ki so prilagojeni različnim skupinam in potrebam ljudi, podpira družbeno integracijo in vključenost (Rodi 2020).

Koncept mesta je bil vedno dinamičen in se je razvijal kot odziv na družbeno-gospodarske, politične in tehnološke spremembe svojega časa (Mumford 1961; Hall 1998). Od starodavnih civilizacij, ki so gradile mesta ob rekah za trgovino in kmetijstvo, do industrijske revolucije, ki je spodbudila urbanizacijo, so bila mesta odraz človeškega napredka. Dandanes se mesta, ki so nekoč bila zgolj konglomerati stavb in cest, razvijajo v zapletena omrežja digitalnih sistemov. V svetu, kjer tehnologija nenehno napreduje in vpliva na vse vidike našega življenja, se urbanistično načrtovanje sooča s številnimi kompleksnimi izzivi. Koncept pametnih mest se ponuja kot rešitev za mnoge od teh izzivov. Pojem pametno mesto, ki se je pojavil na začetku 21. stoletja in sovpada z digitalno revolucijo (Das, Sharma in Ratha 2019), je označil pomemben premik v dojemanju, zaznavanju in interakciji ljudi z javnim prostorom (Moura in de Abreu e Silva 2019). Obstaja več definicij koncepta pametnega mesta, ki se razlikujejo glede na specifične cilje in tehnološke pristope, ki jih mesta uporabljajo za doseganje svojih vizij. Vendar imajo vse skupno načelo: uporaba tehnologije za izboljšanje učinkovitosti delovanja mest ter boljši odziv na potrebe in večja kakovost življenja svojih prebivalcev (Caragliu, Del Bo in Nijkamp 2011; Albino, Berardi in Dangelico 2015; Moura in de Abreu e Silva 2019).

Kljub temu tehnologija sama po sebi ni zadostna za ustvarjanje pametnih, kakovostnih in učinkovitih mest. Nujno je, da se tehnološke rešitve združijo z načeli vključevanja, dostopnosti in sodelovanja ter se medsebojno povezujejo. Koncept trajnostnega pametnega mesta združuje prav ta načela. V ospredje postavlja potrebe prebivalcev (Salha s sodelavci 2020) in jih aktivno vključuje v procese načrtovanja, odločanja in upravljanja ne glede na njihove osebne okoliščine. Koncept uporablja tehnologijo za izboljšanje dostopa do osnovnih storitev, spodbujanje sodelovanja in ustvarjanje bolj dostopnega in trajnostnega mestnega okolja za vse.

Trajnostna pametna mesta so hkrati tudi pobudniki trajnostnega razvoja in ponujajo priložnost za uresničevanje ciljev trajnostnega razvoja (CTR), ki so opredeljeni v Agendi 2030 za trajnostni razvoj. Združeni narodi so leta 2015 sprejeli agendo, ki določa 17 ciljev z namenom odpraviti revščino, zmanjšati neenakost med ljudmi, spodbuditi trajnostno upravljanje naravnih virov in ekosistemov ter zagotoviti trajnostno, vključujočo in pravično gospodarsko rast (Združeni narodi 2015).

Cilji trajnostnega razvoja ZN večkrat omenjajo pravice oseb z invalidnostjo, zlasti v delih, ki se nanašajo na izobraževanje, rast in zaposlovanje, neenakost, dostopnost naselij ter zbiranje podatkov in spremljanje ciljev trajnostnega razvoja. Med CTR, ki so neposredno povezani z vprašanji invalidnosti, so izpostavljeni Kakovostno izobraževanje (CTR 4), Dostojno delo in ekonomska rast (CTR 8), Zmanjšanje neenakosti (CTR 10) in Trajnostna mesta in skupnosti (CTR 11). V dokumentu *Envision2030* je opisano, da se pomen invalidnosti prepozna tudi v procesih zbiranja podatkov in

ocenjevanja napredka pri doseganju ciljev trajnostnega razvoja (medmrežje 1). Cilj Trajnostna mesta in skupnosti (CTR 11), si prizadeva za ustvarjanje mest in naselij, ki so dostopna, vključujoča in trajnostna za vse prebivalce, vključno z osebami z invalidnostjo. Ta cilj poudarja pomen naložb v javni promet, razvoj zelenih javnih površin in izboljšanje mestnega načrtovanja in upravljanja na participativen način, ki spodbuja vključevanje vseh skupin prebivalstva.

V Sloveniji se, podobno kot drugje po svetu, soočamo z demografskimi izzivi, kot sta staranje prebivalstva in urbanizacija mest ter podeželja. Približno 170.000 ljudi, kar je 8,5 % celotnega prebivalstva, so osebe z invalidnostjo (Čuk 2014; Rener s sodelavci 2022), medtem ko skoraj 22 % prebivalstva presega starost 65 let (medmrežje 2). Te demografske spremembe pomenijo za Slovenijo pomembne izzive v kontekstu dostopnosti in trajnostne mobilnosti.

Hiter razvoj tehnologije na različnih področjih je vplival tudi na razvoj geografskega informacijskega sistema (GIS) in širitev njegove uporabe na vedno več različnih področij (Turek in Štepiak 2021). Čedalje bolj se kaže njegova pomembna vloga pri načrtovanju in oblikovanju razvoja trajnostnih pametnih mest in regij, zlasti na področjih upravljanja, gradnje, mobilnosti in varstva okolja (Horák in Ivan 2019). GIS omogoča mestom, da se odzivajo na dinamične potrebe prebivalstva, optimizirajo javne storitve in izboljšajo kakovost življenja, hkrati pa spodbujajo trajnostni in gospodarski razvoj. V tem kontekstu smo si zastavili raziskovalno vprašanje: kako zagotoviti mobilnost oseb z invalidnostjo v mestnem okolju in širše s podporo podatkovnega modela?

Prispevek obravnava vlogo GIS kot orodja za prepoznavanje ovir v prostoru za izboljšanje mobilnosti oseb z gibalnimi in senzoričnimi ovirami ter starejših. Opisana sta metodologija in podatkovni model, razvita v okviru projekta »Omogočanje multimodalne mobilnosti oseb z različnimi oviranostmi« (Rener s sodelavci 2022). Predstavljena je integracija podatkov, pridobljenih iz podatkovnih baz državnih evidenc in lokalnih skupnosti, s podatki daljinskega zaznavanja v odprtokodnem programu QGIS, ki omogoča identifikacijo in natančno kartiranje ovir v prostoru. V prispevku je posebej izpostavljena vloga predstavnikov oseb z različnimi invalidnostmi v procesu participativnega zajemanja in sistematičnega preverjanja verodostojnosti podatkov s terenskim zajemom, saj njihova neposredna vključitev omogoča pridobivanje povratnih informacij o dostopnosti objektov in storitev v realnem času. Prav tako je v prispevku izpostavljeno povezovanje baze podatkov o dostopnosti z drugimi prostorskimi bazami podatkov. Navedene so tudi možnosti, ki jih takšno povezovanje lahko prinese.

2 Metode dela

Da bi odgovorili na raziskovalno vprašanje, smo uporabili kvalitativno metodo, ki temelji na pristopu oblikovanja, usmerjenega k uporabniku (OUU) (angleško *user-centered design* – UCS) (Lowdermilk 2013). Metoda aktivno vključuje uporabnike v vseh fazah raziskave in tako objektivizira rezultate raziskave. Osredotočenost na uporabnika ni le osredotočenost na izgled rezultata, marveč gre za učinkovitost delovanja načrtovane vsebine.

Na podlagi prostorskih analiz o dostopnosti javnega prostora v mestih in OUU smo v raziskavo vključili reprezentativne invalidske organizacije in posameznike z različnimi invalidnostmi. Tako smo kot orodje pri raziskavi uporabili participacijo, tako za zajem kot tudi vzdrževanje podatkov. Participacija ima pomembno vlogo v procesu načrtovanja in oblikovanja demokratičnih mestnih okolij, saj zagotavlja, da bodo upoštewane potrebe in interesi različnih skupin prebivalstva. Številne študije kažejo, da se je GIS z uporabo pametnih mobilnih telefonov uveljavil kot učinkovito orodje za zagotavljanje participacije (Sieber 2006; Brovelli, Minghini in Zamboni 2016). Ta tehnologija omogoča prebivalcem, da s pomočjo mobilnih GIS aplikacij aktivno prispevajo k oblikovanju svojega življenjskega prostora, in sicer z zbiranjem ter deljenjem prostorskih podatkov v realnem času (Ganapati 2010). Raziskave kažejo, da se ljudje pozitivno odzovejo na spremembe, če se jim ponudi možnost aktivne participacije (Luck 2018) pri odločanju ali oblikovanju mestnega okolja. Zato smo v sklopu projekta velik pomen namenili

vključevanju javnosti in delovanju od spodaj navzgor. Spodbujanje in iskanje novih tihih znanj smo uporabili kot povratne informacije različnih skupin prebivalcev in njihovih izkušenj v prostoru. Tiha znanja v kontekstu projekta razumemo kot lastne izkušnje oseb z gibalnimi in senzoričnimi ovirami ter starejših pri prepoznavanju ovir v prostoru kot tudi dobrih rešitev. Aktivno vključevanje vseh skupin prebivalstva v proces načrtovanja, še posebno tistih z različnimi oblikami invalidnosti, zagotavlja, da se javni prostor v mestih, infrastruktura ter storitve oblikujejo na način, ki omogoča enakopraven dostop in uporabnost za vse uporabnike.

Razvili smo metodologije za zajem podatkov o dostopnosti obravnavanih skupin. Metodologije so pomembne za digitalno povezovanje v okviru različnih vidikov, kot so digitalno zbiranje podatkov, predlogi za načrtovanje javnega prostora, prilagajanje javnega potniškega prometa, razvijanje aplikacij, spremljanje napredka trajnostne mobilnosti v mestih in nenazadnje ozaveščanje in izobraževanje. V metodologiji za zajem so opredeljena navodila zajema in vzdrževanja podatkov, izdelana so vsebinska in tehnična navodila, opredeljene kontrole in izoblikovana pravila za načine kontrole zajema. Opredeljena sta tudi način in oblika vzdrževanja podatkovnega sloja.

S prepletom znanstvenega in strokovnega znanja, tehnološkega napredka ter predvsem z vključitvijo izkušenj oseb z različnimi invalidnosti smo zagotovili, da so pri razvoju metodologije upoštevani vsi relevantni vidiki in potrebe. Osebe z različnimi oblikami invalidnosti se vključujejo v vseh fazah projekta, od priprave podatkovnega modela do terenskega zajema ter promocije in prenosa znanj, kar zagotavlja aktivno sodelovanje in sooblikovanje rešitev, ki omogočajo izboljšanje dostopnosti javnega prostora.

Za implementacijo metodologije in zagotavljanje standardiziranega postopka zajema podatkov smo oblikovali naslednje korake:

1. Priprava vhodnih podatkov pridobljenih iz različnih prostorskih baz
 - Podatki so pridobljeni iz podatkovnih baz:
 - Geodetske uprave Republike Slovenije (GURS)
 - Geografskega informacijskega sistema občin
 - Ministrstva, pristojnega za promet
2. Določitev območja zajema
 - Območje zajema podatkov o dostopnosti poti in objektov so navadno občinska središča.
3. Pisarniški zajem
 - Izvaja se v pisarni na računalniku in s programsko opremo QGIS. Kartirajo se podatki o dostopnosti.
4. Terenski zajem
 - Izvaja se na terenu s tabličnim računalnikom ali pametnim mobilnim telefonom in programsko opremo QField for QGIS. Preverja se ažurnost in resničnost podatkov, zajetih v pisarni.
5. Vsebinska, vizualna in topološka kontrola zajetih podatkov
 - Izvaja se v pisarni na računalniku in s programsko opremo QGIS.
6. Vnos v podatkovno bazo podatkov o dostopnosti prostora
 - Rezultati zajema so vidni na Javnem pregledovalniku dostopnosti prostora (slika 4; medmrežje 3). Podatki so javno dostopni za uporabo v ostalih podatkovnih bazah in različne izdelke.

2.1 Podatkovni model

Ustrezno zasnovan podatkovni model je namenjen učinkoviti predstavitvi zbranih informacij. Podatkovni model je tako ključno orodje pri ustvarjanju bolj enakopravne in demokratične družbe in mobilnosti za vse, vključno s tistimi z različnimi oblikami invalidnosti. Zagotavlja boljše reševanje potreb pri načrtovanju javnega prostora, možnosti za bolj učinkovite ukrepe za odpravo različnih ovir v javnih prostorih in omogoča kvalitetno spremljanje napredka na tem področju.

Za uspešno implementacijo podatkovnih modelov, ki podpirajo dostopnost in vključenost, je ključnega pomena interdisciplinarno sodelovanje med urbanisti, arhitekti, strokovnjaki za dostopnost,

tehnologi in končnimi uporabniki (Han, Yoon in Cho 2020). Poleg tega morajo biti podatkovni modeli prilagodljivi in sposobni integrirati nove vrste podatkov, saj se tehnologije in potrebe skupnosti razvijajo. Zaradi prilagajanja podatkovnih modelov spreminjajočim potrebam in novim tehnologijam imajo podatkovni modeli vedno večjo vlogo z vidika večje enakopravnosti in demokratičnosti v javnih prostorih in jih je treba nenehno nadgrajevati z vidika dostopnosti in vključevalnosti (Laakso s sodelavci 2013). Z njimi lahko natančneje prepoznamo razumevanje specifičnih potreb različnih skupin uporabnikov, vključno z osebami z invalidnostjo. To vodi k oblikovanju učinkovitejših rešitev za odpravljanje ovir v javnih prostorih ali pa navigacijo v njem, saj vsebuje tako dostopne poti, ki nam omogočajo načrtovanje od točke A do točke B, kot tudi točke ovir, ki pomenijo različne ovire v prostoru, kot so nespuščeni robniki na pločnikih in podobno. Podatkovni model omogoča tudi analizo podatkov za prostorsko načrtovanje, ki jih lahko strokovnjaki za prostorsko načrtovanje in oblikovanje uporabijo za sprejemanje odločitev pri urejanju javnih prostorov, izboljšanju dostopnosti obstoječih prostorov ter v okviru lokalnih prostorskih politik. To vključuje vse od urbanega pohištva, uličnih ureditev, parkirnih mest, javnih objektov in javnega potniškega prometa do digitalnih storitev in informacijskih sistemov.

Podatkovni model dostopnosti zunanjega javnega prostora, izdelan za potrebe projekta, je strukturirana predstavitev informacij o fizični in funkcionalni dostopnosti zunanjih javnih prostorov, objektov in storitev. Cilj je ustvariti kakovostni podatkovni model, ki omogoča natančno predstavitev dostopnosti objektov, infrastrukture in prostora. Podatkovni model olajšuje mobilnost ter zagotavlja enake možnosti in enakopravno participacijo v družbi. Omogoča tudi uporabo informacij o dostopnosti in mobilnosti v prostoru za različne namene, kot so oblikovanje prostora, prevozne politike, turizem, arhitektura in druge dejavnosti, ki se ukvarjajo z mobilnostjo in dostopnostjo v prostoru.

2.2 Podatkovna baza projekta

Podatkovna baza projekta je bila prvotno zasnovana kot Entiteta-Atribut-Vrednost (EAV) (Connolly in Begg 2010). Podatki v EAV modelu se shranjujejo v treh osnovnih preglednicah: preglednici entitet, atributov in vrednosti. Te preglednice so medsebojno povezane s ključi. Glavne prednosti, zaradi katerih je bila prvotno izbrana ta oblika, so:

- fleksibilnost (ni potrebe po spreminjanju podatkovne sheme, če želimo dodati nov atribut, ker nov atribut predstavlja novo vrstico v preglednici atributov);
- shranjevanje več vrednosti za isti atribut entitete, kar je uporabno za enostavno shranjevanje seznamov ali hierarhičnih podatkov in
- učinkovito upravljanje z redkimi in razpršenimi podatki, saj so za vsako entiteto prisotni samo relevantni atributi.

Že kmalu po implementaciji pa sta prišli do izraza dve značilni slabosti tega pristopa:

- zapletenost shranjevanja, ki je hitro vodila k težavam z integriteto podatkov in ni omogočala učinkovite in enostavne kontrole nad povezljivostjo in enoličnostjo podatkov ter
- zapletenost poizvedovanj, predvsem, ko je šlo za poizvedovanje po več atributih hkrati.

Te slabosti smo nekaj časa reševali s strežniško aplikacijo (API dostopno točko), ki je podatke pretvorila v EAV model in jih shranjevala v bazo. Za poizvedovanja pa so bili izdelani t. i. materializirani pogledi (angleško *materialized view*), ki so pretvorili podatke iz EAV strukture v enostavno obliko, primerno za hitra poizvedovanja. Še vedno pa je ta pristop zahteval precejšnje delo programerjev pri vzdrževanju programskega vmesnika do podatkovne baze, neučinkovitost pa se je pokazala tudi pri dodajanju atributov podatkovnih slojev, saj EAV model ni bil neposredno povezan z modelom zajemanja podatkov. Zato smo podatkovni model nadgradili.

Bistvene zahteve pri nadgradnji podatkovnega modela so bile torej:

- enostavnost vnašanja podatkov,
- enostavnost kontrole podatkov in
- enostavnost poizvedovanja po podatkih.

Glede na to, da zajem podatkov poteka s pomočjo QGIS oziroma mobilne aplikacije QField for QGIS, se je kot najprimernejši pristop izkazala neposredna povezava med QGIS in posameznimi podatkovnimi sloji, katerih atributi so enaki atributom, ki se zajemajo za posamezne prostorske objekte.

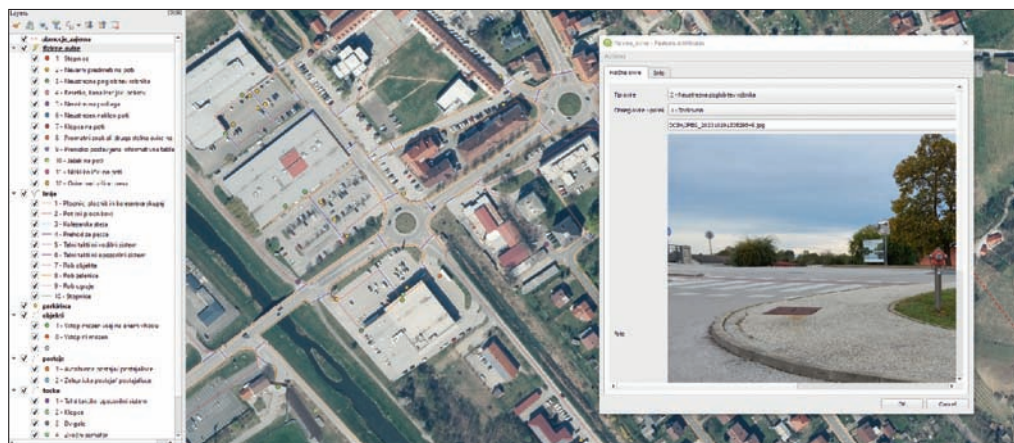
Prostorsko podatkovno bazo tako sestavljajo ločene preglednice posameznih slojev:

- gis_layers.fizicne_ovire
- gis_layers.linije
- gis_layers.objekti_teren
- gis_layers.parkirisca
- gis_layers.postaje
- gis_layers.tocke

Ker se objekti zajemajo po občinah, je dodan še prostorski sloj občin (preglednica public.su_ob).

Podatkovna baza je bila izdelana na osnovi metodologij zajema podatkov. V metodologiji je opredeljen objektni katalog za zgoraj naštetje sloje. Primer atributov za sloj gis_layers.fizicne_ovire je sestavljen iz naziva atributa, tipa atributa in šifranta z vrednostmi (preglednica 1).

Kot je razvidno iz preglednice 1 objektnega kataloga, se poleg opisnih in numeričnih podatkov zajema tudi slikovne podatke. To so fotografije objektov in elementov atributa.



Slika 1: Vmesnik programa QGIS pri zajemu sloja fizičnih ovir.

Opis	Fotografija	Opis	Fotografija
<p>Stopnice in klančina predstavljajo oviro, saj je klančina prestrma, da bi oseba na invalidskem vozičku premagala višinsko razliko.</p> <p>Oznako (točko) postavimo na sredino stopnic.</p>		<p>Stopnice ne predstavljajo ovire, saj se poleg njih nahaja klančina z ustreznim naklonom.</p>	

Slika 2: Kriteriji zajema za linijski in točkovni tip ovire (stopnice).

Preglednica 1: Struktura zapisa atributov, njihovih tipov in vrednosti.

naziv atributa	tip atributa	šifra	
		šifra	opis
tip ovire	šifrant	1	stopnice
		2	nevarni predmeti na poti
		3	neustrezna poglobitev robnika
		4	rešetka, kanalizacijski pokrov
		5	neustrezna podlaga
		6	naklon
obseg ovire	šifrant	1	točkovna
		2	daljša od 5 m
opomba	tekst		/
fotografija	tekst		/
vir	šifrant	1	terenski ogled
		2	ortofoto
datum zajema	datum		/

Za vsak tip ovire je izdelan kriterij zajema, kako je posamezna ovira po tipu zajeta na terenu. Za primer stopnic so izdelani kriteriji kot vodilo zajemalcu podatkov, na kaj mora paziti in kakšen je izgled posamezne oblike stopnic.

2.3 Povezovanje podatkov različnih podatkovnih baz

Povezovanje različnih podatkovnih baz kot digitalne vezi omogočajo oblikovalcem politik in mesnim načrtovalcem tako usmeritve pri izboljšanju infrastrukture kot tudi vpogled v dejansko stanje v prostoru. Za podatkovni model smo uporabili tudi razpoložljive podatke uradnih evidenc in podatkovnih baz različnih organov. Evidence omogočajo prikazovanje in uporabo podatkov v prostoru ter povezljivost z dodatnimi vsebinami, ki so predmet te naloge – podatki o dostopnosti za ranljive skupine.

V proces zajema in priprave vhodnih podatkov so vključeni javno dostopni podatki uradnih državnih evidenc GURS, kot so:

- Podatki Katastra nepremičnin
 - Centroid stavbe
 - Tloris stavbe
 - Hišna številka
 - Številka naslova
 - Dejanska raba dela stavbe
- Podatki Registra prostorskih enot
 - Občina
 - Naselje
 - Ulice
- Podatki Registra naslovov
 - Naslov



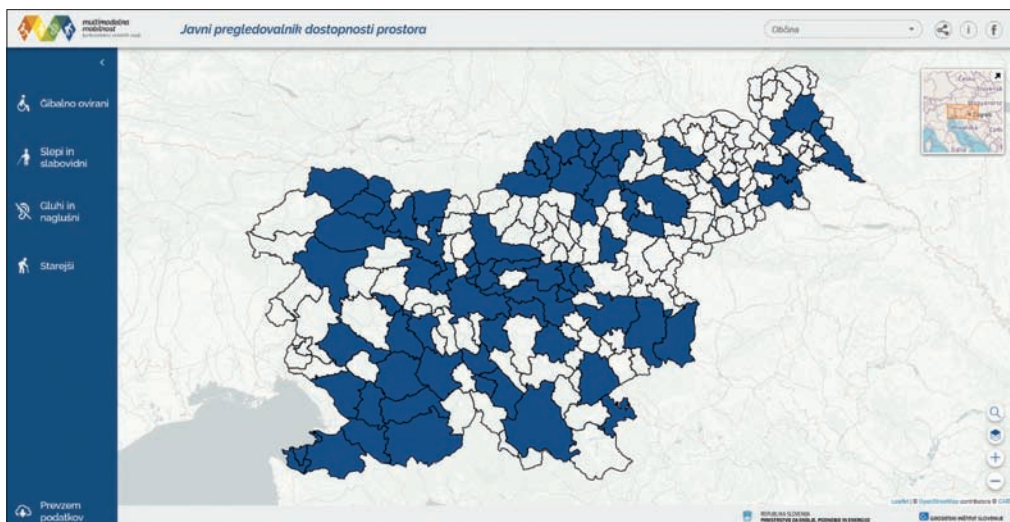
Slika 3: Shema povezovanja različnih podatkovnih baz za pripravo vhodnih podatkov s podatkovno bazo podatkov o dostopnosti.

- Zbirni kataster gospodarske javne infrastrukture
 - Prometna infrastruktura
 - Ceste – linijski objekti
- Državni topografski sistem
 - Podatki daljinskega zaznavanja – ortofoto

Vhodni podatki so tudi različne obstoječe digitalne podatkovne baze v lasti občin, s katerimi razpolagajo, kot na primer seznam parkirnih mest za invalide, javne sanitarije za invalide osebe in podobno. Glede na razpoložljivost podatkov občina pripravi tudi morebitne podatke o talnih taktilnih vodilnih sistemih, zvočnih semaforjih, prisotnost indukcijskih zank v objektih itn. Prav tako so vključeni podatki, pridobljeni od ministrstva, pristojnega za promet, ki zagotavljajo informacije o lokacijah postajališč javnega potniškega prometa.

3 Javni pregledovalnik dostopnosti prostora

Eden izmed rezultatov projekta je Javni pregledovalnik dostopnosti prostora (slika 4; medmrežje 3) in je namenjen vizualizaciji podatkov iz baze podatkov projekta. Zapisi v bazi dinamično vključujejo več različnih oblik invalidnosti in tako pregledovalnik gradi menije glede na stanje v bazi, kar pomeni, da lahko prikazuje več različnih skupin hkrati. Pregledovalnik je zasnovan s konceptom odzivnega oblikovanja, kar je pristop pri oblikovanju spletnih strani, ki se prilagaja različnim napravam in zaslonom (namizni računalnik, tablica, mobilni telefon in podobno). Pregledovalnik ima več funkcionalnosti, kot sta na primer prikaz več slojev hkrati z indikatorjem, ki nam pove, kateri sloji so izbrani. Omogočeno je tudi pretakanje podatkov iz baze podatkov glede na izbrano občino v obliki GEOJSON zapisa.



Slika 4: Vstopna točka v Javni pregledovalnik dostopnosti prostora (medmrežje 3).

V pregledovalniku lahko poizvedujemo po štirih različnih skupinah invalidnosti in sicer: gibalno ovirani, slepi in slabovidni, gluhi in naglušni ter starejši. Vsaka skupina ima svoj nabor slojev, kot so za gibalno ovirane na primer:

- fizične ovire,
- časne fizične ovire,
- poti in prehodi za pešce,
- javni objekti,
- parkirna mesta
- javni promet in
- točke.

Tudi ostale skupine imajo nabore slojev, ki se razlikujejo glede na njihovo invalidnost. Tako ima skupina slepih in slabovidnih dodane talne taktilne vodilne sisteme, talne opozorilne sisteme, zvočne semaforje in podobno. Pri skupini gluhih in naglušnih so dodane lokacije z indukcijskimi zankami ter opremljenost z jasnimi in lahko berljivim besedilom. Za skupino starejših oseb pa so dodane klopi, semaforji s časovnim intervalom in podobno. Sloji se tudi prekrivajo in dopolnjujejo, kot je na primer klop, ki je pomembna tako za starejše, slepe in slabovidne kot tudi za gluhe in naglušne.

4 Povezovanje podatkovnih baz za boljšo dostopnost in mobilnost oseb z različnimi oblikami invalidnosti

Vsak človek ima potrebo in pravico po gibanju in neodvisni mobilnosti ne glede na osebne okoliščine. Predpogoj za zagotavljanje samostojne mobilnosti oseb z invalidnostjo in vključevanje v družbeno življenje je fizična dostopnost odprtega javnega prostora in stavb. To je nenazadnje njihova temeljna pravica, kar pomeni spoštovanje zavez o dostopnosti in osebni mobilnosti Konvencije ZN o pravicah invalidov in EU Strategije o pravicah invalidov za obdobje 2021–2030, Direktive (EU) 2019/882 o zahtevah glede dostopnosti za proizvode in storitve ipd. (Rener s sodelavci 2022).

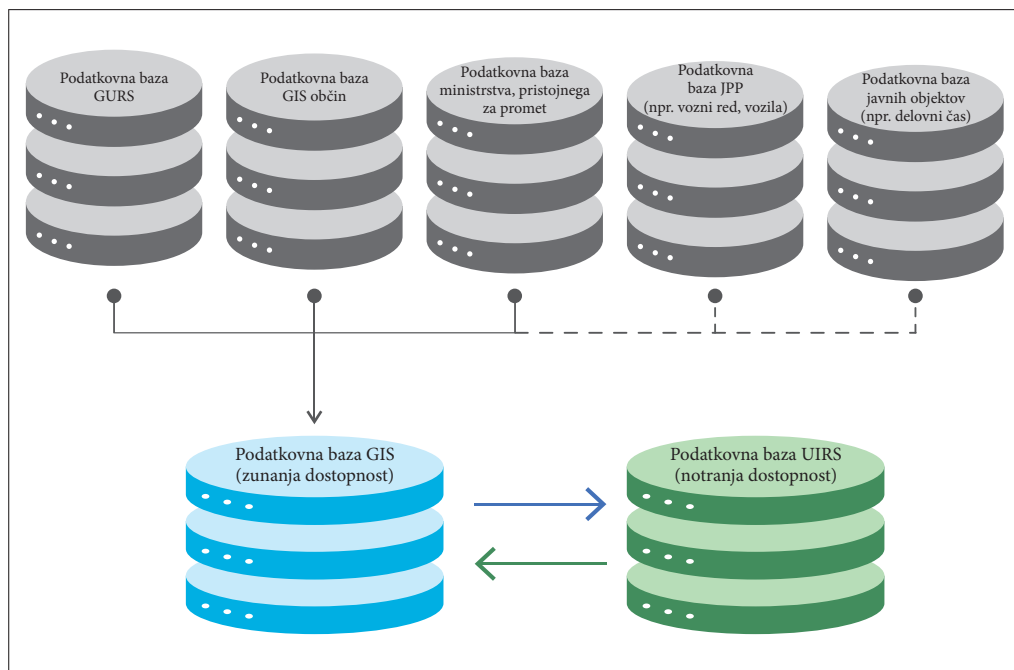
Slovenska mesta in podeželska območja so pogosto slabo medsebojno povezana, kar ovira dostop do bistvenih storitev in otežuje vsakdanje življenje invalidov in starejših. Dostopen javni prostor in

zanesljiv javni prevoz sta ključna za samostojno mobilnost in vključenost oseb z invalidnostmi v družbo. Kljub temu pa ugotovitve, ki izhajajo iz ankete, izvedene v sklopu projekta »Prostorska podatkovna podpora upravljanju javnega potniškega prometa – Invalidi in javnem potniškem prometu« (Lovrić, Vertačnik in Rener 2023), kažejo, da več kot polovica anketiranih oseb z invalidnostjo ocenjuje, da javni prevoz v Sloveniji ni ustrezno prilagojen njihovim potrebam. Ta ugotovitev je podkrepljena tudi z rezultati terenskih raziskav o dostopnosti postajališč javnega prevoza, izvedenih v okviru različnih projektov (Rener s sodelavci 2022; Demšar s sodelavci 2023; Lovrić, Vertačnik in Rener 2023), ki potrjujejo, da številna postajališča in poti do njih niso dostopne za osebe z različnimi oblikami invalidnosti.

Integracija podatkovnih baz, ki vključuje podatke o dostopnosti in podatke o javnem potniškem prometu, je bistvena za izboljšanje in omogočanje samostojne mobilnosti oseb z invalidnostjo. Združevanje podatkov o lokacijah dostopnih avtobusov, lokacijah dostopnih postaj, dostopnih pločnikov in fizičnih ovir ter vozni redih omogoča osebam z invalidnostjo dostop do ključnih informacij za načrtovanje poti.

Kot je že bilo izpostavljeno, je dostopnost zunanjega javnega prostora pomembna za samostojno mobilnost oseb z invalidnostjo. Vendar pa je za celovito vključenost oseb z invalidnostmi v družbo potrebna tudi ustrezna dostopnost notranjih prostorov. V tem kontekstu smo v sodelovanju z Urbanističnim inštitutom Republike Slovenije (UIRS) vzpostavili povezavo med dvema bazama podatkov: bazo dostopnosti Geodetskega inštituta Slovenije (GI), ki se osredotoča na fizično dostopnost zunanjega javnega prostora (Demšar s sodelavci 2023), in bazo dostopnosti UIRS, ki zajema podatke o fizični dostopnosti notranjih prostorov stavb (Bizjak s sodelavci 2021).

V kontekstu izboljševanja dostopnosti in mobilnosti za osebe z invalidnostjo obstoječa prizadevanja kažejo napredek. Vendar pa z integracijo umetne inteligence (UI) v obstoječe sisteme in z razvojem novih tehnoloških rešitev lahko premagamo številne izzive, s katerimi se osebe z invalidnostjo soočajo



Slika 5: Shema že povezanih baz GIS in UIRS ter potencialnega medsebojnega povezovanja različnih podatkovnih baz za omogočanje dostopnosti.

pri gibanju in vključevanju v družbo. S povečevanjem števila podatkovnih baz narašča tudi potreba po naprednih orodjih, ki omogočajo njihovo učinkovito obdelavo in analizo.

UI se izkaže kot ključno orodje, ki omogoča ne samo povezovanje in analizo, ampak tudi obdelavo velikih količin podatkov iz različnih virov. Na primer, UI lahko v realnem času analizira, združuje in obdeluje podatke o fizični dostopnosti ter jih povezuje s podatki o javnem prevozu. To omogoča ustvarjanje dinamičnih navigacijskih sistemov, ki so prilagojeni specifičnim potrebam uporabnikov.

Z integracijo realnočasovnih podatkov v navigacijske sisteme, kot so nepredvidene zapore cest ali okvare na javnem prevozu, bi se lahko zmanjšala možnost nepredvidenih zapolitev. Uporabniki bi, ob nastalih spremembah, prejeli obvestilo in predloge alternativnih dostopnih poti, kar bi jim omogočilo hitro prilagajanje načrtovani poti. Razvoj teh tehnologij bo uporabnikom omogočil tudi lažjo predpripravo in načrtovanje poti, saj bo na voljo vedno več medsebojno povezanih podatkov, ki bodo po obdelavi postale vredne informacije.

Zgoraj opisane povezave med podatkovnimi bazami in možnosti, ki jih ponuja integracija UI v sisteme mobilnosti in dostopnosti ne samo izboljšajo trenutne pogoje, temveč postavljajo tudi temelje za prihodnje inovacije, ki bodo koristile širšemu krogu uporabnikov.

5 Sklep

V obdobju hitrega tehnološkega napredka, naraščanja urbanega prebivalstva in izrazitega staranja populacije, kar prinaša povečano število oseb z različnimi oblikami invalidnosti s potrebo po neoviranem dostopu do javnih prostorov, se strokovnjaki na področju načrtovanja in oblikovanja prostora soočajo z vedno večjimi izzivi pri ustvarjanju dostopnih in vključujočih prostorov. Zadnje desetletje je zaznamoval prehod od tradicionalnega koncepta mest k oblikovanju dinamičnih in prilagodljivih mest. Ta prehod ne pomeni zgolj fizične preobrazbe, temveč tudi spremembo paradigme v razmišljanju in pristopov k oblikovanju mest. S postavljanjem človeka v osredje načrtovalskega procesa in z uporabo tehnologije kot orodja za večjo kakovost življenja se ustvarjajo mesta, ki niso le pametna, temveč tudi vključujoča in odzivna na potrebe svojih prebivalcev.

Če se osebam z invalidnostjo omogoči dostop do javnega prostora, se s tem krepi njihov občutek neodvisnosti in samostojnosti, hkrati pa spodbudi ustvarjanje *prostorov* enakosti, združevanja, povezovanja in solidarnosti. Ta pristop prispeva k destigmatizaciji ter hkrati povečuje ozaveščenost tako strokovnjakov kot laične javnosti o pomenu prilagajanja prostora in storitev (Butler in Bowlby 1997). Pomembno je izpostaviti, da če prostor prilagodimo potrebam oseb z različnimi invalidnostmi, ta prostor postane primeren za prav vse uporabnike.

V okviru projekta »Omogočanje multimodalne mobilnosti oseb z različnimi oviranostmi« aktivno prispevamo k doseganju ciljev trajnostnega razvoja, zlasti na področju vključevanja oseb z invalidnostjo. Ta prizadevanja vključujejo spodbujanje povezovanja med različnimi ravni upravljanja – od ministrstev in lokalne samouprave, neposredne vključitve reprezentativnih invalidskih organizacij in posameznikov z invalidnostjo v proces priprave metodologij in zbiranja podatkov o dostopnosti v javnem prostoru, do izvedbe ozaveševalnih in izobraževalnih dogodkov.

V kontekstu trajnostnih pametnih mest, kjer je poudarek na uporabi sodobnih tehnologij za izboljšanje kakovosti življenja, se je GIS tehnologija pokazala kot zelo uporabno orodje na več ravneh. Z vključitvijo GIS orodij v različne procese in sisteme mest se omogoča razvoj mest, ki so ne le bolj odzivna in trajnostno naravnana, ampak tudi bolj vključujoča. Integracija, analiza in vizualizacija podatkov iz različnih virov preko GIS orodij pa mestom omogočajo optimizacijo storitev.

Trenutno so v uporabi in z GIS orodji povezane podatkovne baze GURS, občin, državnih organov in UIRS. Koncept podatkovnega modela, ki smo ga razvili v projektu, pa v prihodnosti predvideva možnost vključevanja dodatnih podatkovnih baz, kot so na primer podatki o prihodnih avtobusov in vlakov, vezanih na sloj javnega potniškega prometa. Preplet omenjenih podatkovnih baz tudi z bazo o dostopnosti

zunanjih in notranjih prostorov ter spletne dostopnosti bo ustvaril digitalne vezi, ki so izjemna podpora različno oviranim uporabnikom in so del velepodatkov pametne mestne infrastrukture.

Če mest ne bomo načrtovali in oblikovali tako, da bodo dostopna za vse, se bomo soočili z resničnim tveganjem ustvarjanja družbe, ki izključuje številne člane in jim onemogoča polno vključevanje v družbeno, ekonomsko in kulturno življenje.

6 Viri in literatura

- Albino, V., Berardi, U., Dangelico, R. 2015: Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. *Journal of Urban Technology* 22. DOI: <https://doi.org/10.1080/10630732.2014.942092>
- Bizjak, I., Demšar, J., Goršič, N., Jurca, T., Lovrić, M., Mujkić, S., Renner, R., Sendi, R. 2021: Priročnik o dostopnosti objektov pravosodnih organov. Ljubljana.
- Brovelli, M., Minghini, M., Zamboni, G. 2016: Public participation in GIS via mobile applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 114. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.04.002>.
- Butler, R., Bowlby, S. 1997: Bodies and spaces: An exploration of disabled people's experiences of public space. *Environment and Planning D: Society and Space* 15-4. DOI: <https://doi.org/10.1068/d150411>
- Caragliu, A., Del Bo, C., Nijkamp, P. 2011: Smart cities in Europe. *Journal of Urban Technology* 18-2. DOI: <https://doi.org/10.1080/10630732.2011.601117>
- Connolly, T., Begg, C. 2010: Database systems. A practical approach to design, implementation and management. Essex.
- Čuk, J. 2014: V septembru 2014 je bilo med registriranimi brezposelnimi osebami v Sloveniji 15,7 % invalidov. Medmrežje: <https://www.stat.si/statweb/news/index/4916> (10. 6. 2024).
- Das, A., Sharma, S. C. M., Ratha, B. K. 2019: The new era of smart cities, from the perspective of the Internet of Things. *Smart Cities Cybersecurity and Privacy*. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815032-0.00001-9>
- Demšar, J., Renner, R., Bizjak, I., Jurca, T. 2023: Vzdrževanje podatkovne baze o dostopnosti in priprava načrtov odstranitve ovir v objektih pravosodnih organov na območju Republike Slovenije za funkcionalno ovirane osebe z akcijskim načrtom odprave do leta 2025. Končno poročilo, Geodetski inštitut Slovenije. Ljubljana.
- Ganapati, S. 2010: Public participation geographic information systems: A literature survey. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6536-3_23
- Gehl, J. 2011: Life between buildings: Using public space. Washington, D.C.
- Hall, P. 1998: Cities in civilization. London.
- Han, S. R., Yoon, S., Cho, S. 2020: Smart accessibility: Design process of integrated geospatial data models to present user-customized universal design information. *Frontiers in Psychology* 10. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02951>
- Horák J., Ivan I. 2019: Applied GIS in the context of smart regions and cities. *GeoScape* 13-2. DOI: <https://doi.org/10.2478/geosc-2019-0007>
- Laakso, M., Sarjakoski, T., Lehto, L., Sarjakoski, L. 2013: An information model for pedestrian routing and navigation databases supporting universal accessibility. *Cartographica* 48-2. DOI: <https://doi.org/10.3138/cart0.48.2.1837>
- Lovrić, M., Vertačnik, M., Renner, R. 2023: Prostorska podatkovna podpora upravljanju javnega potniškega prometa – Invalidi v javnem potniškem prometu. Končno poročilo, Geodetski inštitut Slovenije. Ljubljana.
- Lowdermilk, T. 2013: User-centered design. Sebastopol.
- Luck, R. 2018: Inclusive design and making in practice: Bringing bodily experience into closer contact with making. *Design Studies* 54. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.destud.2017.11.003>
- Medmrežje 1: <https://www.un.org/development/desa/disabilities/%20envision2030.html> (24. 2. 2024).

- Medmrežje 2: <https://www.stat.si/statweb/Field/Index/17/104> (10. 6. 2024).
- Medmrežje 3: <https://pregledovalnik.dostopnost-prostora.si/> (29. 4. 2024).
- Moura, F., de Abreu e Silva, J. 2019: Smart cities: Definitions, evolution of the concept and examples of initiatives. DOI: http://doi.org/10.1007/978-3-319-71059-4_6-1
- Mumford, L. 1961: The city in history. New York.
- Renner, R., Demšar, J., Lovrić, M., Janežič, M., Žnidaršič, H. 2022: Omogočanje multimodalne mobilnosti oseb z različnimi oviranostmi. Končno poročilo, Geodetski inštitut Slovenije. Ljubljana.
- Rodi, A. P. 2020: (De)signs for dignity: Towards an enabling environment in Athens, Greece. Transactions of the Association of European Schools of Planning 4-1. DOI: <http://doi.org/10.24306/TrAESOP.2020.01.006>
- Salha, R. A., Jawabrah, M. Q., Badawy, U. I., Jarada, A., Alastal, A. I. 2020: Towards smart, sustainable, accessible and inclusive city for persons with disability by taking into account checklists tools. Journal of Geographic Information System 12. DOI: <https://doi.org/10.4236/jgis.2020.124022>
- Sieber, R. 2006: Public participation geographic information systems: A literature review and framework. Annals of the Association of American Geographers 96-3. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.2006.00702.x>
- Svetovna zdravstvena organizacija, 2022: Global report on health equity for persons with disabilities. Medmrežje: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240063600> (3. 7. 2024).
- Turek, T., Stepniak, C. 2021: Areas of integration of GIS technology and smart city tools. Research findings. Procedia Computer Science 192. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.09.246>
- Združeni narodi, 2015: Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. Medmrežje: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf> (24. 2. 2024).
- Združeni narodi, 2019: World urbanizations prospects: The 2018 revision. Medmrežje: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf> (24. 2. 2024).
- Združeni narodi, 2022: World population prospects 2022: Summary of results. Medmrežje: https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf (24. 2. 2024).

VPLIV POLOŽAJNE NESKLADNOSTI PODATKOV DALJINSKEGA ZAZNAVANJA NA KLASIFIKACIJO DREVES

Adam Gabrič

Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Inštitut za antropološke in prostorske študije; Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
adam.gabric@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4816-2881>

dr. Dejan Grigillo

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
dejan.grigillo@fgg.uni-lj.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0049-3859>

dr. Žiga Kokalj

Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Inštitut za antropološke in prostorske študije
ziga.kokalj@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1712-0351>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610508885_10

UDK: 528.8:582.091(497.4)

IZVLEČEK

Vpliv položajne neskladnosti podatkov daljinskega zaznavanja na klasifikacijo dreves

Objekti nad tlemi so na ortofotu glede na lasten dejanski položaj zamaknjeni. Zanimalo nas je, ali in kako zamik vpliva na rezultate klasifikacije dreves ob hkratni uporabi ortofota in podatkov aerolaserskega skeniranja, pri katerih zamika ni. Konvolucijsko nevronske mreže PSPNet smo naučili prepoznavanja krošenj iz združenih ortofota in modela višin krošenj, narejenega iz podatkov aerolaserskega skeniranja, ter vsakega posebej. Preverili smo, kakšna je natančnost določanja obodov krošenj posameznih dreves. Za 111 testnih drevesnih krošenj ta ni korelirala z zamikom krošenj na ortofotu, zato ne moremo potrditi, da zamik vhodnih podatkov vpliva na natančnost klasifikacije. Po drugi strani zaradi zamika nekateri vhodni podatki niso položajno skladni z maskami za učenje nevronske mreže, kar bi lahko predstavljalo težavo pri bolj zahtevni klasifikaciji (na primer klasifikaciji drevesnih vrst).

KLJUČNE BESEDE

ortofoto, aerolasersko skeniranje, Ciklično aerofotografiranje Slovenije, položajna neskladnost, klasifikacija

ABSTRACT

Effects of position incongruence of remote sensing data on tree classification

On the orthophoto, objects above the ground are displaced compared to their true position. This study aims to determine whether the displacement affects tree classification results when using both orthophoto and aerolaser scanning data, which are not affected by the displacement. We trained the convolutional neural network PSPNet to recognize tree crowns using orthophoto, canopy height model from aerial laser scanning data and a combination of both. The classification accuracy of the tree crowns for 111 test trees did not correlate with the orthophoto displacement. Although the displacement had no effect on the classification results, the findings suggest that the incongruence of the segmentation masks and the model input data could pose a challenge for a more complex classification task, such as tree species classification.

KEY WORDS

orthophoto, airborne laser scanning, Cyclic Aerial Survey of Slovenia, positional incongruence, classification

1 Uvod

Podatki aerolaserskega skeniranja Slovenije in državni ortofoto so najbolj podrobni podatki daljinskega zaznavanja, ki so prosto dostopni in razpoložljivi za ozemlje celotne države. Ortofoto in aerolasersko skeniranje se uporabljata za različne namene, mogoča pa je tudi njuna hkratna uporaba, ob čemer se je treba zavedati njenega različnega nastanka, ki vpliva na položajno neskladnost elementov nad tlemi. Zanimalo nas je, ali ob souporabi obeh podatkovnih virov položajna neskladnost vpliva na natančnost samodejne zaznave dreves s konvolucijsko nevronske mreže.

Državni ortofoto je izdelan iz fotografij Cikličnega aerofotografiranja Slovenije (CAS). Pri prevzorčenju fotografij iz centralne projekcije v pravokotno projekcijo, v kateri je izdelan ortofoto, se kot projekcijska ploskev uporabi digitalni model terena (DMT). Zaradi tega so vsi objekti, ki ležijo nad površjem Zemlje horizontalno premaknjeni (Kraus 2007; Triglav Čekada 2016), kar je najbolj očitno na primeru zvrnjenih stavb. Velikost zamika je odvisna od višine objekta in kota, pod katerim je objekt posnet. Končni ortofoto je mozaik večjega števila fotografij, ki se stikajo na šivnih linijah. Te so izbrane tako, da so šivi med sosednjimi fotografijami neopazni, zato za izdelavo ortofota niso nujno izbrane fotografije, na katerih so objekti zvrnjeni najmanj (Triglav Čekada 2016).

Podobnih položajnih netočnosti podatki aerolaserskega skeniranja nimajo. Laserski skener omogoča merjenje razdalj do objektov, v primeru aerolaserskega skeniranja je nameščen na letalu in meri razdalje do objektov na površju Zemlje. Ob razdalji skener zabeleži še kot skeniranja, kar se združi s podatki o poziciji in usmerjenosti letala ter orientaciji senzorja. Rezultat obdelave zabeleženih podatkov je oblak točk z znanimi koordinatami X, Y, Z, intenziteto vrnjenega odboja, lahko tudi redom in številom odbojev posameznega laserskega pulza, kotom pulza, razredom klasifikacije in podobno (Oštir 2006; Petrie in Toth 2018).

2 Metode dela

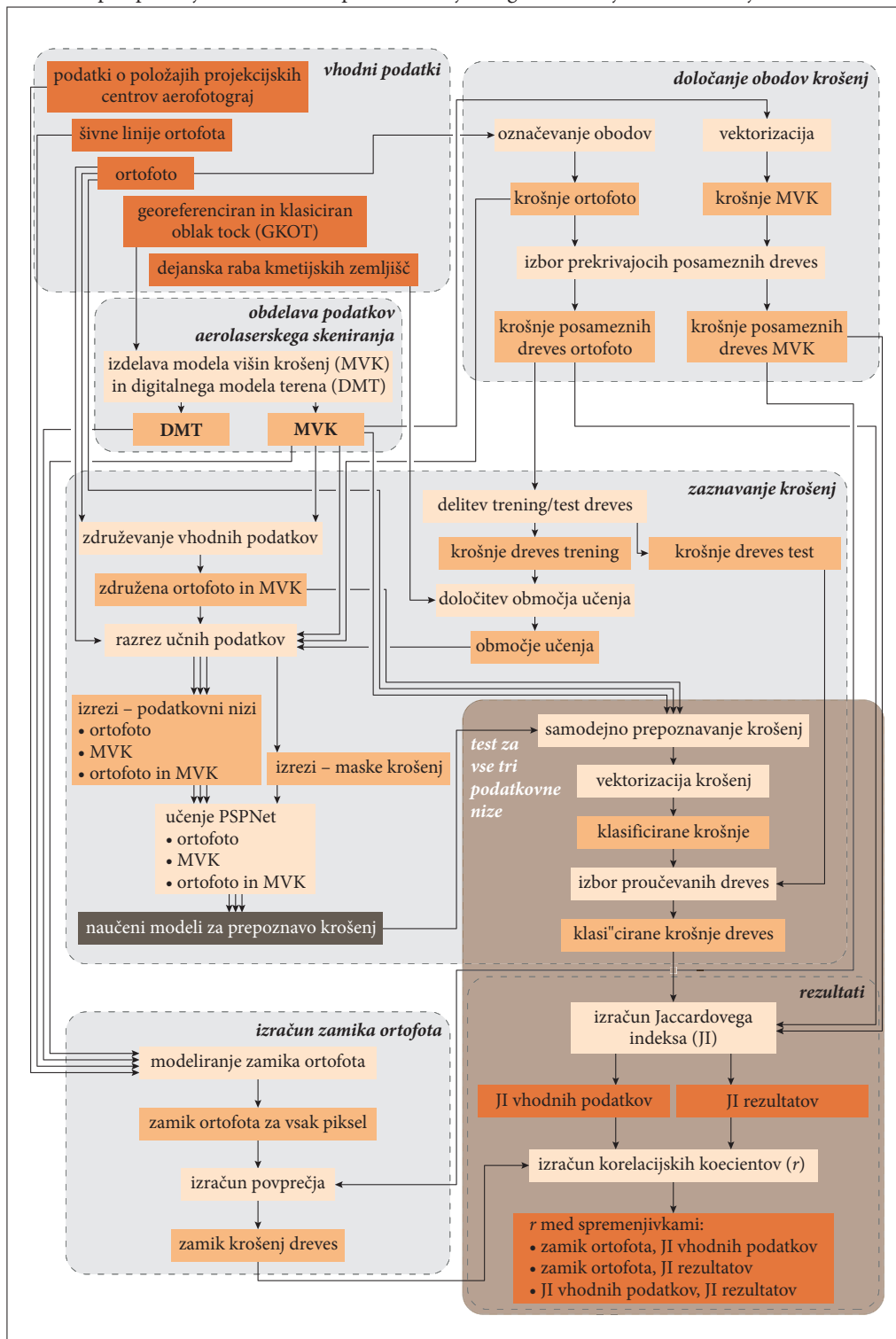
Potek dela je pregledno prikazan na sliki 1. V prvem koraku smo iz georeferenciranega in klasificiranega oblaka točk (GKOT) izdelali model višin krošenj (MVK) (poglavje 2.1). Obode krošenj (gozd, skupine dreves, mejice, posamezna drevesa ...) iz MVK smo pridobili z vektorizacijo binarne maske krošenj na MVK, medtem ko smo obode krošenj na ortofotu označevali ročno. Pri ročnem označevanju obodov krošenj iz ortofota smo posebej označevali drevesa, katerih krošnje se ne stikajo s krošnjami sosednjih dreves (posamezna drevesa). Delež krošnje, ki je napačno klasificiran zaradi zamika ortofota, bi moral biti največji za najmanjše krošnje. Vpliv neskladnosti podatkov smo zato preverjali le za posamezna drevesa, prepoznana tako na ortofotu kot tudi na MVK (poglavje 2.2).

Izbrane krošnje posameznih dreves smo uporabili za delitev na podatke za učenje konvolucijske nevronske mreže Pyramid Scene Parsing Network – PSPNet (Zhao s sodelavci 2017) in testne podatke. Da smo povečali količino podatkov za učenje konvolucijske nevronske mreže, smo za učne vzorce za trening uporabili tako drevesa kot njihovo okolico (območje učenja) (poglavje 2.3). S tem smo v učne vzorce dodali krošnje, ki se pojavljajo na robu gozda, kot del mejic, skupin dreves in podobno. Na podlagi podatkov o dejanski rabi zemljišč (Dejanska raba kmetijskih zemljišč ... 2014) smo odstranili površine, ki bi lahko slabšale prepoznavo posameznih dreves (poglavje 2.3).

Območje učenja smo razdelili na izreze, ki so sestavljeni iz binarnih mask krošenj ter podatkovnih nizov. Maske krošenj so bile generirane z rastriranjem ročno označenih krošenj na ortofotu. Podatkovni nizi so bili trije: ortofoto, MVK, združena ortofoto in MVK. Na vsakem podatkovnem nizu smo konvolucijsko nevronske mreže PSPNet učili prepoznave krošenj, s čimer smo dobili tri naučene modele (model, naučen na ortofotu, model, naučen na MVK, model, naučen na združenih ortofotu in MVK) (poglavje 2.3).

Slika 1: Potek dela. ► (str. 121)

Vpliv položajne neskladnosti podatkov daljinskega zaznavanja na klasifikacijo dreves



Za izračun zamika ortofota smo pridobili šivne linije ortofota (Šivne linije 2014a; Šivne linije 2014b; Šivne linije 2014c; Šivne linije 2014č; Šivne linije 2014d; Šivne linije 2014e; Šivne linije 2014f; Šivne linije 2015a; Šivne linije 2015b) in podatke o položajih projekcijskih centrov aerofotografij ortofota (Aerofotografije CAS 2014; Aerofotografije CAS 2015), iz GKOT pa smo izračunali MVK in DMT (poglavje 2.4). Modeliran zamik je bil določen za vsak piksel MVK. Izračunali smo povprečen zamik posameznih dreves, vektoriziranih iz MVK (poglavje 2.4). Povprečne zamike posameznih dreves smo uporabili za ugotavljanje vpliva zamika na kakovost zaznavanja obodov krošenj.

Test smo pričeli s prepoznavanjem vseh krošenj na proučevanih območjih z naučenimi modeli. Prepoznane krošnje smo vektorizirali in izbrali krošnje, ki se dotikajo krošenj posameznih dreves za test. Za vsako drevo smo izračunali Jaccardov indeks (JI) klasificirane krošnje in krošnje posameznega drevesa, prepoznanega na ortofotu (JI rezultatov) (poglavje 2.3). Izračunali smo tudi razmerje med presekom in unijo krošenj posameznih dreves, digitaliziranih iz ortofota, in krošenj posameznih dreves, vektoriziranih iz MVK (JI vhodnih podatkov) (poglavje 2.2). Za vsak naučen model smo z izračunom Pearsonovega koeficienta (r) (Illowsky s sodelavci 2013) preverili, kakšna je korelacija med zamikom in JI rezultatov ter med JI vhodnih podatkov in JI rezultatov. Za boljše razumevanje zamika smo izračunali tudi r med zamikom ortofota in JI vhodnih podatkov.

2.1 Podatki

Vpliv zamika med državnim ortofotom in podatki aerolaserskega skeniranja Slovenije na klasifikacijo dreves smo preverjali na 18 proučevanih območjih. Zaradi čim boljšega ujemanja podatkov smo stremeli k čim manjši časovni razliki med njimi. Aerolasersko skeniranje so izvedli večinoma v letih 2014 in 2015 (Triglav Čekada in Bric 2015), zato smo uporabili štiri kanale državnega ortofota (RGB iz DOF050, bIIR iz DOF050IR) iz istih let (prostorska ločljivost 0,5 m). Uporabili smo podatke, zajete z največ enoletnim razmikom, izjema so bili podatki za proučevano območje Koštabona (preglednica 1). Zaradi kratkega obdobja med zajemom enih in drugih podatkov, predpostavljamo, da so imele krošnje v času zajema podatkov še vedno podoben obseg.

Iz GKOT smo za proučevana območja izdelali MVK in DMT. Za izdelavo MVK smo uporabili pristop, ki ga predlagajo Khosravipour, Skidmore in Isenburg (2016). Pri tem smo izdelali MVK brez nepotrebnih lukenj (angleško *pits*) in špic (angleško *spikes*) v krošnjah. Za izdelavo smo uporabili orodje LAsTools (različica 230330). GKOT smo sprva normalizirali, da smo v oblaku točk podatke o nadmorskih višinah zamenjali s podatki o višini nad tlemi. Pri tem smo odstranili nikoli klasificirane točke, neklasificirane točke in nizke točke oziroma šum (razredi 0, 1, 7). Za izračun višine nad tlemi smo uporabili radij 10 m. V naslednjem koraku smo oblak točk redčili, obdržali smo najvišjo točko za vsak kvadrat velikosti 25×25 cm. Vsako točko smo osemkrat podvojili v krogu z radijem 0,1 m, s čimer smo simulirali širino laserskega pulza in izdelali nabor točk, primernih za izdelavo MVK. Iz pridobljenih točk, klasificiranih kot nizka, srednja in visoka vegetacija (razredi 3, 4, 5), smo interpolirali MVK s prostorsko ločljivostjo 0,5 m. Pred rastriranjem MVK se iterativno izdeluje mreža nepravilnih trikotnikov, sprva iz najvišjih točk, nato po višinskih pasovih. Dolžino najdaljše stranice trikotnikov in višinske pasove smo omejili na 3 m. Končno trikotniško mrežo smo rastrirali, ob čemer smo pikslom, ki so bili manj kot 2 m nad tlemi, pripisali vrednost 0.

2.2 Izbor proučevanih dreves

Krošnje na ortofotu smo prepoznali z vizualno fotointerpretacijo, pri čemer smo posebej označevali posamezna drevesa. Ob morebitni nejasnosti (na primer zaradi senc) smo uporabili še MVK. Krošnje iz aerolaserskih podatkov smo pridobili z izdelavo maske in vektorizacijo MVK. Ročno označene obode krošenj posameznih dreves smo rastrirali in ponovno vektorizirali, da so se tako obodi krošenj, modelirani iz MVK, kot tudi obodi krošenj, zarisani na ortofoto, prekrivali z robovi pikselov uporabljenih MVK in ortofota.

Preglednica 1: Datumi zajema uporabljenih podatkov.

proučevano območje	aerolasersko skeniranje	aerofotografiranje
Bukovnica	31. marec, 1. april 2014	21. maj 2014
dolina Krke	12., 14. in 15. marec 2014	22. maj 2014
Jeruzalem	31. marec, 1. april 2014	20. maj 2014
Koštabona	8. marec, 8. april 2011	8. avgust 2014
Lendavske gorice	1. april 2014	20. maj 2014
Lipica	14. februar 2014	20. julij 2014
Ljubljansko barje	8. marec 2015	6. maj 2014
Logarska dolina	29. in 30. avgust, 12. oktober 2014	12. junij, 2., 5., 6. in 7. julij 2015
Otlica	30. in 31. oktober 2014	29. avgust 2014
Petanjci	31. marec, 1. april 2014	21. maj 2014
Posavsko hribovje	20. marec 2014	20. maj 2014
Resnik-Skomarje	11., 13. in 19. oktober 2014, 28. januar 2015	22. maj 2014
Senožeče	14. in 24. februar 2014	19. julij 2014
Tivoli	8. marec 2015	6. maj 2014
Tomaj	14. februar 2014	19. julij 2014
Trenta	17. avgust, 8. september 2014	5. julij 2015
Uniše	28. januar 2015	20. maj 2014
Velika planina	29. avgust, 19. oktober 2014	2. julij 2015

Vpliv zamika ortofota na natančnost določanja obodov krošenj smo preverjali na posameznih drevesih, katerih krošnje so bile od ostalih krošenj oddaljene vsaj 10 m. To je veljalo tako za ročno označene krošnje, digitalizirane iz ortofota, kot tudi za krošnje, vektorizirane iz MVK. S tem smo zagotovili, da sosednje krošnje ne vplivajo na morebitno napačno določen obod krošnje v rezultatih. Krošnje MVK smo pregledali in odstranili tiste, pri katerih je bil obod zaradi vpliva stavb, daljnovodov ali drugih objektov nad tlemi napačno določen.

Vsem zahtevam je ustrezalo 239 krošenj posameznih dreves. Izmed teh smo jih 120 uporabili za učne modele za zaznavo krošenj, ostale smo uporabili za analizo vpliva zamika na natančnost določanja obodov krošenj. Izmed dreves za analizo vpliva zamika smo naknadno odstranili 8 dreves, saj je bilo ob pogledu na klasificirane krošnje jasno, da sta na določanje oboda krošnje negativno vplivala temno zelena trava in nizko grmičevje v okolici drevesa. V testni množici za analizo vpliva zamika je bilo torej 111 dreves.

2.3 Zaznavanje krošenj

Ker je bilo dreves za učenje PSPNet le 120 (skupna površina krošenj 6413 m²), smo učno množico povečali s krošnjami dreves v mejicah, skupinah dreves, obvodni vegetaciji ... S tem smo površino krošenj v učni množici povečali za približno 100-krat. Območje učenja smo pridobili v radiju 200 m okoli učnih dreves, pri čemer smo izločili območja gozda, območja suhih odprtih zemljišč s posebnim rastlinskim pokrovom in območja odprtih zemljišč brez ali z nepomembnim rastlinskim pokrovom, kjer se krošnje večinoma pojavljajo v obliki nizkega grmičevja. Le-to ima podoben spektralni podpis kot drevje, a različno višino, kar bi lahko negativno vplivalo na sposobnost prepoznave dreves. Gozd smo iz učne množice izločili, da se model ne bi naučil prepoznavati le večjih površin sklenjenih krošenj. Na območjih učenja ni bilo dreves, ki smo jih uporabili za testiranje rezultatov.

Nize podatkov območij učenja smo razrezali na kvadratne izreze s stranicami dolgimi 64 pikselov (32 m) in s 50 % prekrivanjem. Maske krošenj so bile binarne. Za prepoznavanje krošenj smo uporabili konvolucijsko nevronske mrežo PSPNet s hrbtencično arhitekturo ResNet34 (He s sodelavci 2016). Ta je bila predhodno naučena na slikovni bazi ImageNet (Deng s sodelavci 2009). Ob našem delu smo omogočili učenje vseh slojev hrbtencične arhitekture. Uporabili smo implementacijo PSPNet v programu ArcGIS Pro (različica 3.1.0). Delo je potekalo na računalniku z grafično kartico Nvidia RTX A4500 z 20 GB pomnilnika. Število epoh je bilo 50, stopnja učenja 0,001 in velikost paketa 64.

2.4 Zamik ortofota

Za izračun zamika visokih objektov na ortofotu smo uporabili MVK, ob čemer se zavedamo vnosa napak iz izdelkov aerolaserskega skeniranja. Menimo, da so uporabljeni podatki aerolaserskega skeniranja za izvedeni izračun dovolj točni, čeprav je ocena kakovosti zajema lidarskih podatkov močno otežena (Habib 2018a). Za podatke aerolaserskega skeniranja Slovenije so ocenili, da sta višinska in horizontalna točnost kontrolnih točk boljši od predpisanih 15 cm za višinsko in 30 cm za položajno točnost (Triglav Čekada in Bric 2015).

Za izračun zamika ortofota smo uporabili koordinate projekcijskih centrov aerofotografij, iz katerih je izdelan ortofoto, in šivne linije ortofota, ki smo jih pridobili od Geodetske uprave Republike Slovenije. Potrebovali smo še DMT, ki smo ga v prostorski ločljivosti 0,5 m interpolirali iz GKOT. Pri tem smo uporabili točke, klasificirane kot tla (razred 2).

Z enačbo 1 smo za vsak piksel izračunali višino projekcijskega centra nad tlemi (H_i), H_p je nadmorska višina projekcijskega centra v trenutku zajema posnetka, DMT_i pa vrednost piksla i na digitalnem modelu terena (slika 2).

$$\text{Enačba 1: } H_i = H_p - DMT_i$$

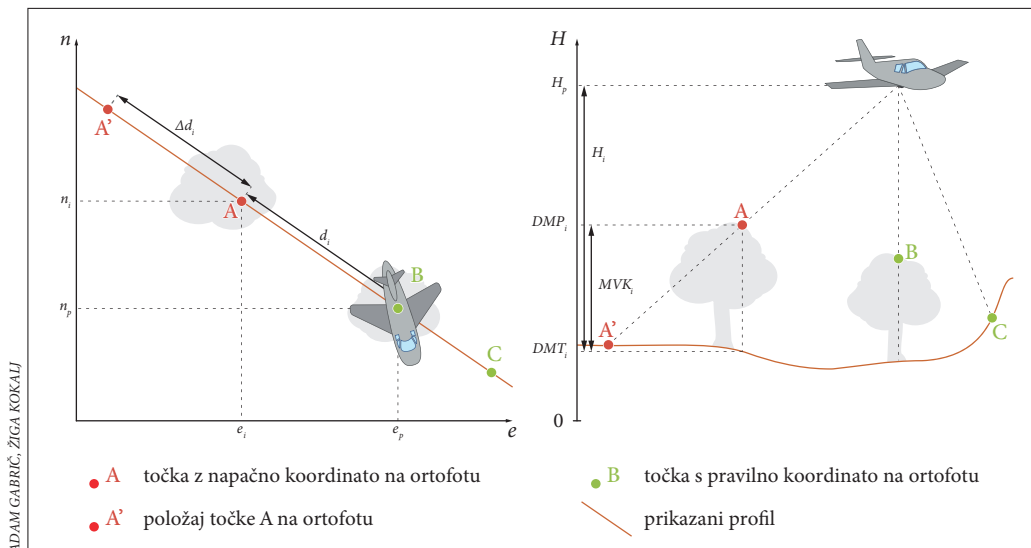
$$\text{Enačba 2: } d_i = \sqrt{(e_p - e_i)^2 + (n_p - n_i)^2}$$

Z enačbo 2 smo izračunali evklidsko razdaljo med središčem piksla i in položajem projekcijskega centra v horizontalnem koordinatnem sistemu (d_i). V enačbi 2 so e_p koordinata x projekcijskega centra v trenutku zajema posnetka, e_i koordinata x središča posameznega piksla, n_p koordinata y projekcijskega centra v trenutku zajema posnetka in n_i koordinata y središča posameznega piksla. Vse koordinate so bile v koordinatnem sistemu D96/TM. Rezultate enačb 1 in 2 smo uporabili za izračune zamika ortofota v metrih (Δd_i) (enačba 3).

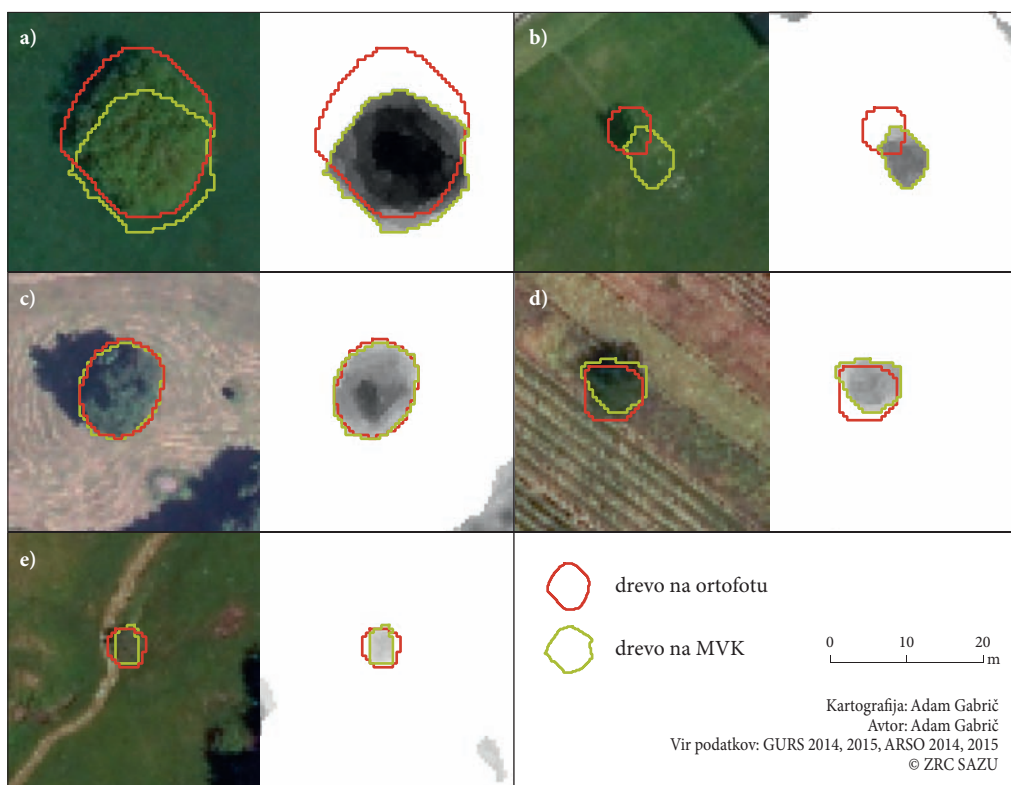
$$\text{Enačba 3: } \Delta d_i = \frac{MVK_i \cdot d_i}{H_i - MVK_i}$$

3 Analiza vhodnih podatkov

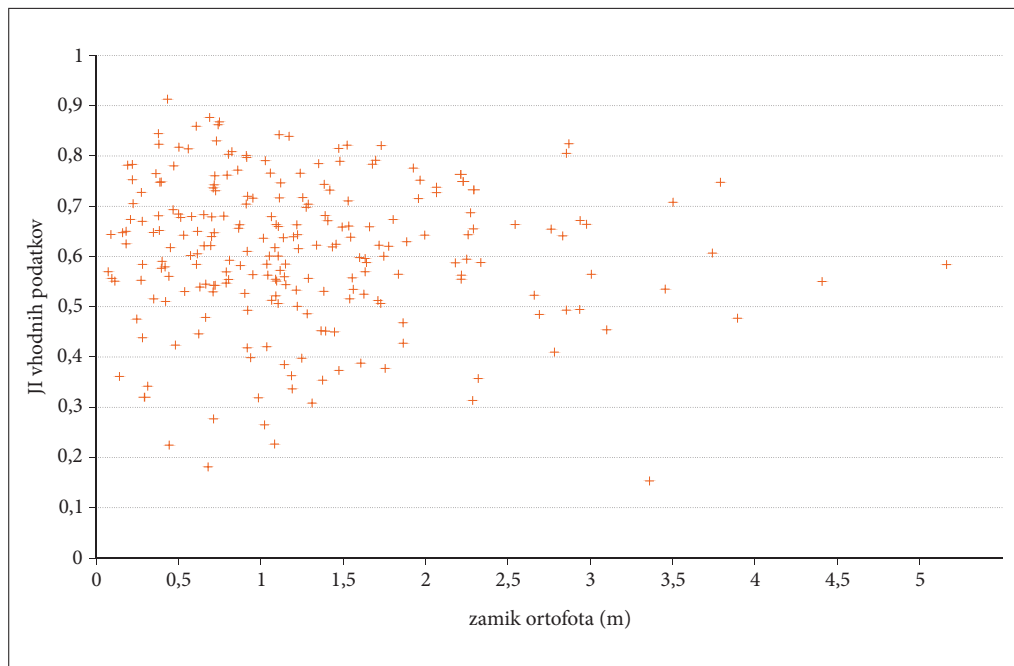
Med analiziranimi drevesi je najbolj zamaknjeno drevo višine 19,4 m na Ljubljanskem barju, zamik ortofota znaša 5,2 m, IoU vhodnih podatkov pa 0,58 (slika 3a). Mnogo manjši IoU vhodnih podatkov (0,15) ima drevo v naselju Skomarje z manjšim obsegom krošnje, višino 11,1 m in zamikom ortofota 3,4 m (slika 3b). Najvišji JI vhodnih podatkov je 0,91, dosega ga drevo višine 14,4 m v Trenti (slika 3c). V poprečju JI vhodnih podatkov znaša 0,60, mediana je 0,62. JI vhodnih podatkov 0,5 presega 87 dreves (36 %), 0,75 pa le 17 (7 %). Glede na JI vhodnih podatkov sta povprečni drevesi na slikah 3d in 3e (JI vhodnih podatkov 0,62 in 0,60), vendar pa je razlog za takšen JI različen. Medtem ko je drevo na sliki 3d na ortofotu zamaknjeno proti jugu, je razlog za različen obod krošenj drevesa na sliki 3e opazno večja krošnja na ortofotu.



Slika 2: Izvor zamika ortofota ter izračun zamika ortofota (levo: tlorisni prikaz, desno profilni prikaz).



Slika 3: Proučevana drevesa na ortofotu in MVK.



Slika 4: Odnos med JI vhodnih podatkov in zamikom ortofota.

Korelacije med JI vhodnih podatkov in zamikom ortofota ($r = -0,00$, p -vrednost = 0,99) ni. Kljub temu je opazno, da pri večjih zamikih drevesa ne dosegajo najvišjih JI vhodnih podatkov (slika 4). Medtem ko je pri nižjih zamikih JI vhodnih podatkov razpršen, pri zamiku nad 3 m ne presega 0,8. Z večanjem zamika ortofota torej največji teoretični JI vhodnih podatkov pada, vendar je iz razpršenosti grafa očitno, da zamik ni edini dejavnik, ki vpliva na skladnost obeh uporabljenih podatkovnih slojev.

4 Rezultati klasifikacij

Korelacije med zamikom ortofota in JI rezultatov ni, še največjo je dosegel model, naučen na ortofotu, kar ni smiselno, saj smo vse modele učili in njihovo natančnost preverjali z maskami, ki smo jih ročno določili iz ortofota. Pri modelu, naučenem na ortofotu, torej ni bilo zamika niti med posameznimi sloji v podatkovnem nizu, niti med maskami in podatkovnim nizom.

Podobno korelacijo med zamikom ortofota in JI rezultatov kakor model, naučen na ortofotu, je dosegel še model, naučen na združenih ortofotu in MVK. Model, naučen le na MVK, ni izkazoval nobene povezave med zamikom in JI rezultatov (preglednica 2), čeprav je pri njem celoten podatkovni niz zamaknjen glede na maske krošenj.

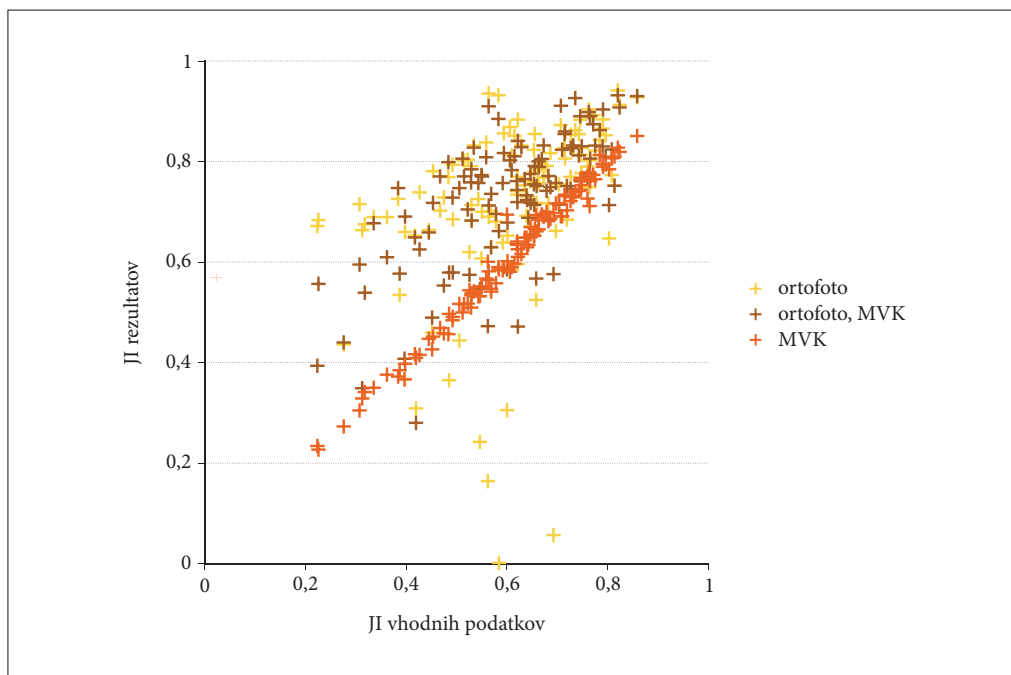
Natančnost določanja obodov krošenj posameznih dreves smo preverili s srednjo vrednostjo JI rezultatov posameznih modelov (preglednica 2). Najboljši rezultat je dosegel model naučen na združenih ortofotu in MVK, vendar je bila razlika v primerjavi z modelom, naučenim le na ortofotu, zanemarljiva. Nižje srednje vrednosti JI rezultatov za model, naučen z MVK, ne moremo imeti za dokaz, da se iz MVK model ne more naučiti prepoznavati krošenj enako kakovostno kakor iz ortofota, saj smo vse rezultate preverjali s posameznimi drevesi, prepoznanimi na ortofotu. Iz nižje srednje vrednosti JI rezultatov tega modela in majhne razlike med srednjima vrednostma ostalih dveh lahko ugotovimo, da MVK

ob uporabi mask, izdelanih iz krošenj, prepoznanih na ortofotu, ni mogel izrazito prispevati k izboljšanju določanja oboda krošenj posameznih dreves na ortofotu.

Model, naučen na MVK, je dosegal izjemno visoko korelacijo JI vhodnih podatkov in JI rezultatov, povezavo med tema spremenljivkama lahko potrdimo tudi za model, naučen na združenih ortofotu in MVK (preglednica 2). Celotne korelacije teh dveh spremenljivk sicer ne moremo pripisati zgolj povezavi zamika in natančnosti določanja obodov krošenj, saj se rahla povezanost kaže tudi za model, naučen na ortofotu. Takšno povezanost teh dveh spremenljivk lahko pripišemo odvisnosti JI od velikosti krošnje, višja korelacija pa zagotovo kaže na odvisnost JI rezultatov od JI vhodnih podatkov.

Preglednica 2: Natančnost določanja oboda krošenj posameznih dreves ter stopnja korelacije med zamikom ortofota in natančnostjo določanja obodov krošenj treh naučenih modelov.

podatkovni niz	srednja vrednost JI rezultatov	r med zamikom ortofota in JI rezultatov (p-vrednost)	r med JI vhodnih podatkov in JI rezultatov (p-vrednost)
ortofoto	0,72	0,20 (0,03)	0,39 (0,00)
MVK	0,61	-0,01 (0,94)	0,99 (0,00)
združena ortofoto in MVK	0,73	0,17 (0,07)	0,69 (0,00)



Slika 5: Odnos med JI vhodnih podatkov in JI rezultatov vseh treh modelov.

5 Diskusija

Čeprav jasne korelacije med natančnostjo določanja obodov krošenj posameznih dreves in zamikom ortofota ni, rezultati kažejo na pomen učnih vzorcev, zajetih glede na podatke, uporabljene v procesu klasifikacije. Korelacija med JI vhodnih podatkov in JI rezultatov za klasifikacijo z MVK dokazuje, da je bil model sposoben kot krošnje prepoznati le tisti del segmenta, zarisanega na ortofoto, ki se je prekrival z drevesom na MVK. Model se je naučil prepoznati krošnje glede na uporabljene podatke, čeprav se je tekom učenja učil krošnje prepoznavati v njenem obsegu iz ortofota. Neskladnost mask krošenj in podatkovnih nizov se ni izkazala za pretirano težavo, saj je model, naučen na MVK, sposoben prepoznavati krošnje. Po drugi strani bi neskladnost lahko bila težava ob zaznavanju medsebojno podobnih razredov (na primer klasifikacija posameznih drevesnih vrst ali gozdnih sestojev).

Majhna razlika med natančnostjo določanja obodov krošenj modelov, naučenih na ortofotu in na združenih ortofotu in MVK, nakazuje na majhno sposobnost učenja relevantnih značilnk na MVK. Po drugi strani je možno, da se je PSPNet ob uporabi združenih ortofota in MVK učil prepoznave krošenj na podlagi podatkov, ki so bolj usklajeni z uporabljenimi maskami. Tako se postavlja vprašanje, ali so metode klasifikacije, naučene na različnih podatkovnih virih, sposobne popolnoma izrabiti prednosti raznolikih informacij ali pa so sposobne uporabiti le podatke, s katerimi so maske za učenje modela najbolj usklajene. Če bi želeli za neko raziskavo do popolnosti izrabiti tako podatke ortofota kot tudi podatke aerolaserskega skeniranja bi morali imeti oba podatkovna vira popolnoma usklajena med seboj, pri čemer je treba poudariti ne le položajno, ampak tudi časovno usklajenost podatkov. Čeprav nas je v raziskavi bolj zanimala prva, predvidevamo, da je bila ena izmed težav modelov, naučenih na MVK, tudi druga. Za nekatera proučevana območja so bili podatki sicer zajeti v istem letu, a za določanje oboda krošenj je pomembna še usklajenost fenološke faze. Medtem ko so bile vse aerofotografije posnete v topli polovici leta, natančnejše med majem in avgustom, je aerolasersko skeniranje večinoma potekalo pozimi in zgodaj spomladi. Nekatera analizirana drevesa so bila tako na MVK neolistanata, medtem ko so bila med aerofotografiranjem vsa olistana. Posledično je obseg krošnje na MVK lahko opazno manjši.

Za povečanje položajne usklajenosti vhodnih podatkov bi morali namesto klasičnega ortofota uporabiti popolnega. Pri njegovi izdelavi ob ortorektifikaciji namesto DMT uporabijo digitalni model površja (DMP). Čeprav je popolni ortofoto položajno bolj natančen, se ga ne izdeluje pogosto (Triglav Čekada 2016), saj v »senci«^z vrznenih objektov nekatere površine niso zajete na nobeni izmed posnetih fotografij in bi na popolnem ortofotu ostale prazne oziroma bi prišlo do pojava dvojnega kartiranja (Kraus 2007; Habib 2018b; Kosmatin Fras, Šušteršič in Šašić Kežul 2021). Rešitev je v povečanju števila fotografij in povečanju vzdolžnega in prečnega preklopa (prekrivanja fotografij) (Triglav Čekada 2016), kar postopek izdelave močno podaljša in podraži, zaradi česar tudi v tujini šele v zadnjih letih klasični ortofoto zamenjujejo s popolnim (Kosmatin Fras, Šušteršič in Šašić Kežul 2021).

6 Sklep

Ugotovili smo, da zamik ortofota ne vpliva na natančnost določanja obodov krošenj, vpliva pa na kakovost učnih vzorcev, s katerimi smo model učili prepoznave krošenj. Le 36 % krošenj posameznih dreves je imelo JI vhodnih podatkov večji od 0,5. Z uporabo vseh ostalih dreves za učenje modela v učno množico dodajamo več negotovosti kakor koristnih informacij. V danem primeru so označene krošnje modelom, naučenim na položajno neusklajenih učnih vzorcih, še vedno omogočale prepoznavo dreves. Podobna položajna neskladnost bi bila bolj problematična v primeru prepoznavanja kategorij lesnate vegetacije, ki se ne razlikujejo tako izrazito od okolice.

Položajno usklajeni podatki so za strojno učenje najbolj koristni. V proučevanem primeru bi bilo tako smiselno izdelati popolni ortofoto iz fotografij, ki bi bile zajete sočasno z aerolaserskim skeniranjem, saj na usklajenost podatkov vpliva tudi fenološka faza. Podatki, uporabljeni v izvedeni analizi,

niso bili zajeti hkrati, ortofoto pa ni bil popolni ortofoto, zaradi česar lahko napake modelov izhajajo iz neuskladenosti mask za učenje modelov in MVK. Rezultati nakazujejo tudi na to, da se je model, naučen na združenih ortofotu in MVK, učil prepoznave predvsem glede na ortofoto, ki je bolj uskladen z maskami krošenj, informacije MVK pa zanemari, čeprav omogočajo kompleksnejše razumevanje analiziranih elementov.

ZAHVALA: Prispevek je nastal s finančno podporo Javne agencije za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije v okviru raziskovalnega programa št. P2-0406 Opazovanje Zemlje in geoinformatika ter projekta št. V5-2135 Prenova regionalne razdelitve krajskih tipov in izjemnih krajev v Sloveniji ter njihova digitalizacija, ki ga sofinancirajo Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo ter Ministrstvo za kulturo.

7 Viri in literatura

- Aerofotografije CAS. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2014.
- Aerofotografije CAS. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2015.
- Dejanska raba kmetijskih zemljišč, Register kmetijskih gospodarstev 2015. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Ljubljana, 2015. Medmrežje: <https://rkg.gov.si/vstop/> (16. 1. 2024).
- Deng, J., Dong, W., Socher, R., Li, L.-J., Kai, L., Li F.-F. 2009: ImageNet: A large-scale hierarchical image database. 2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Miami. DOI: <https://doi.org/10.1109/CVPR.2009.5206848>
- Habib, A. 2018a: Accuracy, quality assurance, and quality control of light detection and ranging mapping. Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing. Boca Raton, London, New York.
- Habib, A. 2018b: Integration of LiDAR and photogrammetric data: Triangulation and orthorectification. Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing. Boca Raton, London, New York.
- 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). Las Vegas. DOI: <https://doi.org/10.1109/10.1109/CVPR.2016.90>
- Illowsky, B., Dean, S., Birmajer, D., Blount, B., Boyd, S., Einsohn, M., Helmreich, J., Kenyon, L., Lee, S., Taub, J. 2013: Introductory statistics. Houston.
- Khosravipour, A., Skidmore, A. K., Isenburg, M. 2016: Generating spike-free digital surface models using LiDAR raw point clouds. A new approach for forestry applications. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.06.005>
- Kosmatin Fras, M., Šušteršič, K., Šašič Kežul, A. 2021: Popolni ortofoto v urbanih okoljih. Geodetski vestnik 65-1. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2021.01.27-45>
- Kraus, K. 2007: Photogrammetry: geometry from images and laser scans. Berlin, New York.
- Oštir, K. 2006: Daljinsko zaznavanje. Ljubljana.
- Petrie, G., Toth, C. K. 2018: Airborne and spaceborne laser profilers and scanners. Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing. Boca Raton, London, New York.
- Šivne linije ortofota. OAF Bovec. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2015a.
- Šivne linije ortofota. OAF Celje. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2014a.
- Šivne linije ortofota. OAF Koper. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2014b.
- Šivne linije ortofota. OAF Kranj. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2015b.
- Šivne linije ortofota. OAF Krško. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2014c.
- Šivne linije ortofota. OAF Ljubljana. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2014č.
- Šivne linije ortofota. OAF Maribor. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2014d.

- Šivne linije ortofota. OAF Murska Sobota. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2014e.
- Šivne linije ortofota. OAF Nova Gorica. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2014f.
- Triglav Čekada, M. 2016: Navidezna zvrnjenost objektov na državnem ortofotu ali kaj moramo vedeti, ko uporabljamo državni ortofoto? *Geografski vestnik* 88-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/GV88107>
- Triglav Čekada, M., Bric, V. 2015: Končan je projekt laserskega skeniranja Slovenije. *Geodetski vestnik* 59-3.
- Zhao, H., Shi, J., Qi, X., Wang, X., Jia, J. 2017: Pyramid scene parsing network. arXiv 1612.01105. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1612.01105>

KARTIRANJE GOZDNIH POŽAROV NA KRASU Z RAZLIČNIMI VIRI DALJINSKO ZAZNANIH POSNETKOV

dr. Urša Kanjir

Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Inštitut za antropološke in prostorske študije

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

dr. Aleš Marsetič

Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Inštitut za antropološke in prostorske študije; Vesolje-SI

ales.marsetic@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3307-508X>

Marko Peljhan

Systemics Lab, University of California, Santa Barbara

peljhan@ucsb.edu, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2186-9256>

dr. Žiga Kokalj

Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Inštitut za antropološke in prostorske študije

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

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610508885_11

UDK: 528.8:630*43(497.472) "2022"

IZVLEČEK

Kartiranje gozdnih požarov na Krasu z različnimi viri daljinsko zaznanih posnetkov

Požari v naravi so tesno povezani z delovanjem človeka in svetovnimi podnebnimi spremembami. Imajo velik vpliv na okolje ter zdravje in varnost ljudi. Spremljanje požarov na velikem območju je z uporabo posnetkov daljinskega zaznavanja postalo stroškovno in časovno učinkovito. V študiji se osredotočamo na spremljanje gozdnih požarov, natančneje na zaznavo aktivnih požarov in velikosti pogorelih površin, ki so nastali julija 2022 na Goriškem Krasu. Analiziramo satelitske posnetke Sentinel-2 in NEMO-HD, ter posnetke zajete z brezpilotnim letalnikom. Ugotavljamo, da posnetki zajeti z brezpilotnim letalnikom omogočajo najbolj natančno oceno obsega požarov, s satelitskih posnetkov pa, zaradi manjše prostorske ločljivosti, časa snemanja ali prisotnosti oblakov, pridobimo nekoliko podcenjene velikosti pogorelih površin, a lahko iz njih razberemo aktiven ogenj.

KLJUČNE BESEDE

pogorele površine, zaznavanje sprememb, spektralne spremenljivke, satelitski posnetki, brezpilotni letalnik

ABSTRACT

Mapping forest fires in the Karst region using various remote sensing data sources

Wildfires are closely linked to human activities and global climate change. They have a major impact on the environment, as well as on human health and safety. Monitoring fires over large areas has become cost and time efficient through the use of remote sensing imagery. In this study, we focus on the monitoring of forest fires, in particular the detection of active fires and the extent of burnt areas that occurred in the Goriška Karst region in July 2022. We analyse Sentinel-2 and NEMO-HD satellite imagery, as well as images taken by unmanned aircraft. We find that unmanned aircraft imagery provides the most accurate estimate of fire extent, while satellite imagery provides a slightly underestimated burnt area due to lower spatial resolution, acquisition time or the presence of clouds, but is still able to detect active fires.

KEY WORDS

burnt areas, change detection, spectral variables, satellite images, unmanned aircraft

1 Uvod

Gozdne požare označujejo nenadnost in nepredvidljivost ter velika uničevalna zmogljivost, zaradi česar sta njihovo odkrivanje in napovedovanje zahtevna (Zhao in sodelavci 2023). Giglio in sodelavci (2018) so ocenili, da naj bi na svetu na letni ravni zgorelo okoli 3,4 % vse zemeljske kopne površine. Gozdni požari imajo velik vpliv na naravno okolje, človekove dejavnosti in podnebne spremembe (Wang, Qu in Hao 2008) in bistveno spremenijo strukturo, sestavo in delovanje ekosistemov (Pérez-Cabello, Montorio in Alves 2021). Za ekosisteme so lahko hkrati koristni in škodljivi. Na gozdne požare vplivajo številni dejavniki, med katerimi so najpogostejši meteorološke spremenljivke (temperature, veter, padavine, relativna vlaga), topografija terena, vrsta vegetacije in človekove dejavnosti (Guo in sodelavci 2017). Natančno spremljanje gozdnih požarov je ključnega pomena za njihovo zgodnje odkrivanje, sledenje širjenju požara, odkrivanju aktivnega ognja, izboljšanju učinkovitosti gašenja, oceno škode in vpliva na okolje, oceno pogorelih površin in opazovanje obnove vegetacije (Thomaz in Pereira, 2021). Daljinsko zaznavanje ima zaradi pogostega opazovanja in možnosti opazovanja večjih območij naenkrat prednost pred tradicionalnimi, večinoma terenskimi metodami pregledovanja. Zaznavamo lahko trenutno aktivne požare, pogorele površine po samem dogodku in posledice ekoloških učinkov požara (Lentile in sodelavci 2006). Spektralne razlike ob požaru so v vidnih spektralnih kanalih in mikrovalovnem kanalu majhne, v kanalih bližnje infrardeče svetlobe (*angleško near infrared* – NIR), kratkovalovne infrardeče (*angleško short wave infrared* – SWIR) in termalnih kanalih pa precejšnje, zato jih običajno zaznavamo v teh spektralnih kanalih. Prav tako za zaznavanje velikosti pogorelih površin pogosto uporabljamo spektralne indekse, ki posredno ocenjujejo spremembe biofizikalnih lastnosti vegetacije, na primer fotosintetsko aktivnost (Liu et al., 2020). Spektralni indeksi temeljijo na razmerjih kanalov, ki običajno vključujejo bližnje infrardeče kanale, kot npr. normirani diferencialni vegetacijski indeks (NDVI), izboljšani vegetacijski indeks (EVI – *angleško enhanced vegetation index*) in normirano razmerje



Slika 1: Zemljevid z lokacijo požarov.

požganosti (NBR – *angleško normalized burn ratio*). Aktivni požari so glede na okolico običajno zelo vroči in oddajajo velike količine toplotne energije, ki jo lahko opazujejo toplotni senzorji na satelitih ali letalih (Wooster in sodelavci 2021).

V prispevku so opisani različni satelitski sistemi in kazalniki, s katerimi smo opazovali gozdne požare, ki so se v drugi polovici julija, natančneje med 15. in 31. julijem, leta 2022 širili na območju Krasa, torej zahodne Slovenije in delu Italije v bližini državne meje (slika 1). Vegetacija je bila gosta in suha, zato je bilo gašenje požarov v kombinaciji z visokimi poletnimi temperaturami, močnim vetrom in zahtevnim terenom, zelo oteženo. Požari, ki so zajeli območje s prepoznavnimi krajinskimi značilnostmi na nacionalni ravni in zavarovano območje Nature 2000, veljajo za največje požare v Sloveniji, stroški sanacije pa so bili ocenjeni na več kot 47 milijonov evrov (Košček in sodelavci 2023). Cilj prispevka je prikaz uporabnosti različnih senzorjev daljinskega zaznavanja ob požarih. V prispevku opišemo veččasovne posnetke požarov zajete z visoko ločljivim satelitskim sistemom Sentinel-2, posnetek visoko ločljivega satelita NEMO-HD in mozaik posnetkov zajetih z zelo visoko ločljivim senzorjem na brez-pilotnem letalniku. S posnetki Sentinel-2 smo zaznavali tudi stanje aktivnih požarov v času preleta satelita nad požanim območjem.

2 Metode dela in podatki

Gozdne požare na Krasu v obdobju med 15. in 31. julijem 2022 smo spremljali z različnimi sistemi daljinskega zaznavanja in sicer: s satelitskimi posnetki senzorjev Sentinel-2 in NEMO-HD ter posnetki brez-pilotnih letalnikov C-Astral Bramor in Wingtra One.

2.1 Posnetki Sentinel-2

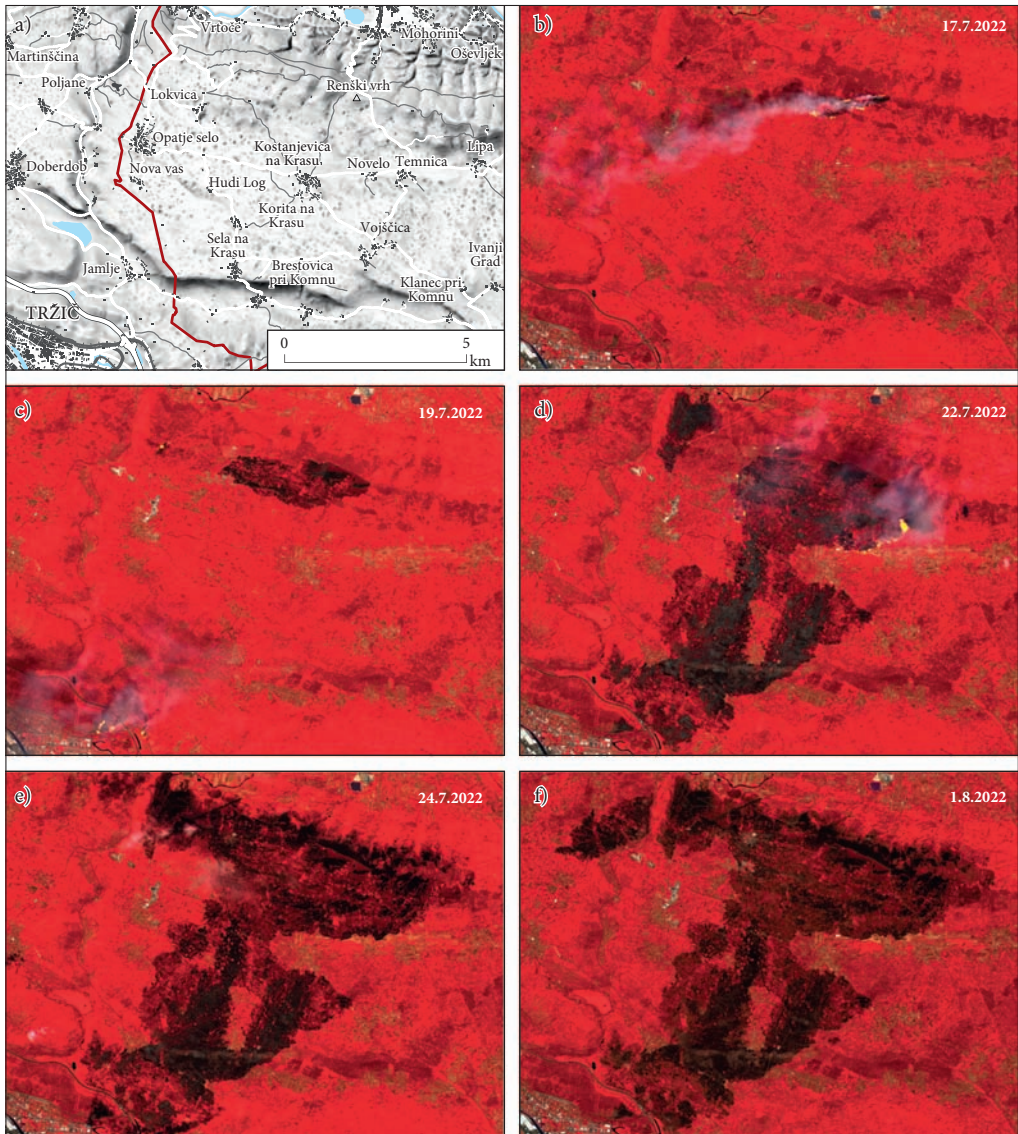
Optična satelita Sentinel-2A in 2B, ki sta del evropskega programa Kopernik, snemata z večspektralnim senzorjem v trinajstih spektralnih pasovih v treh različnih prostorskih ločljivostih: 10 metrov (štirje kanali), 20 metrov (šest kanalov) in 60 metrov (trije kanali). Posnetki so od junija 2015 na voljo vsakih deset dni, od marca 2017 pa na pet dni (Drusch in sodelavci 2012). Zaradi preklopa pasov snemanja je časovna ločljivost na območju Slovenije še boljša, in sicer znaša med tri in štiri dni, vendar je gostota brezoblačnih posnetkov mnogo manjša (Pehani in sodelavci 2022). Posnetki so prosto in brezplačno dostopni vsem uporabnikom. Zaradi visoke prostorske ločljivosti in razmeroma pogostega snemanja so primerni tudi za odkrivanje manjših požarov (< 100 ha), ki v svetovnem merilu pomenijo pomemben delež pogorelih površin (Zagalikis 2023). Požari so najbolj opazni na lažno barvnih oziroma infrardečih barvnih posnetkih, kjer so območja z visoko odbojnostjo v infrardečem delu spektra (npr. zdrava vegetacija) videti rdeči, zato so pogorela območja gozdov v temnejših barvah zelo očitna (glej slike 2, 4 in 7).

Iz kombinacije rdečega in infrardečega kanala posnetka Sentinel-2, smo izračunali NDVI na datum pred začetkom (4. julij 2022) in po koncu (1. avgust 2022) požarov ter njuno razliko (slika 3). Iz slike 3 se v temnejših tonih lepo razbere obseg požarišča, saj je NDVI dober pokazatelj (ne)aktivnosti vegetacije in posledično neposreden pokazatelj pogorelih površin.

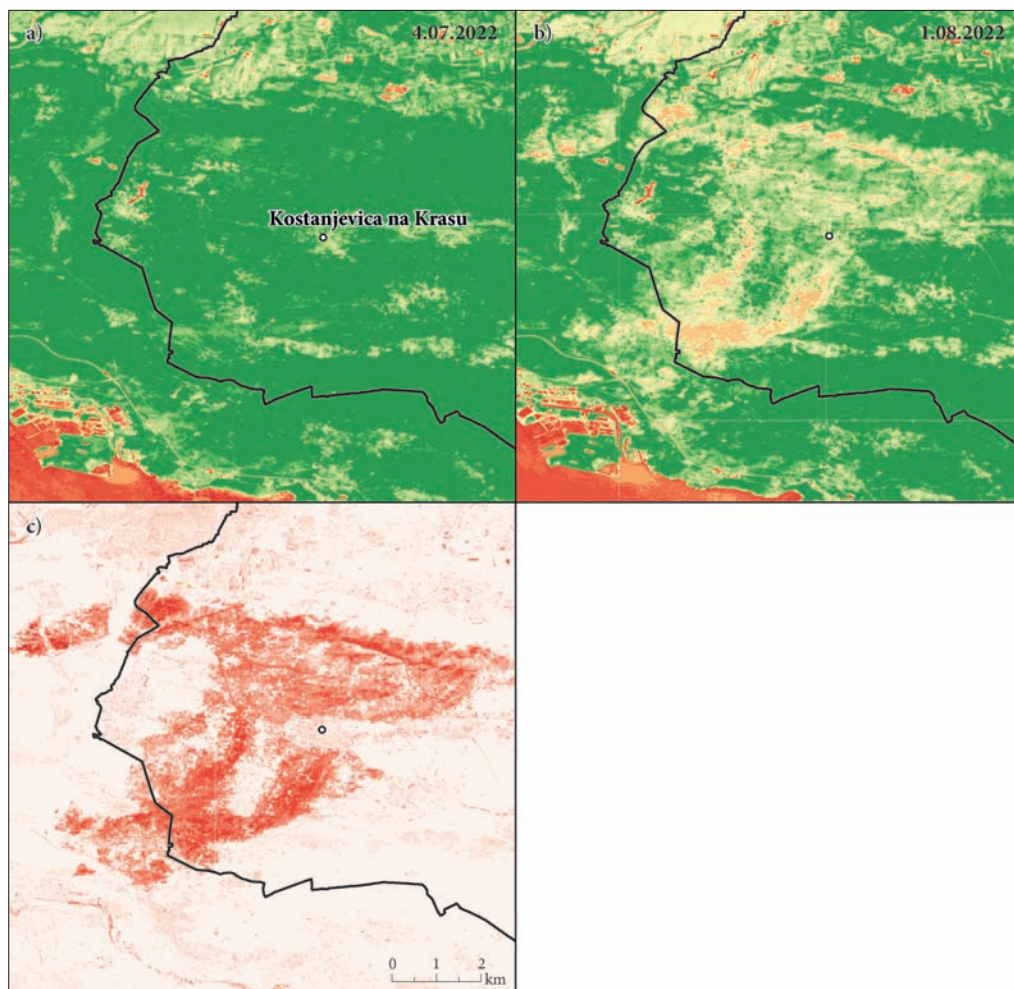
2.2 Posnetki NEMO-HD

NEMO-HD je prvi slovenski mikrosatelit. Izstreljen je bil leta 2021 in upravlja ga Center odličnosti vesolje, znanost in tehnologije (Vesolje-SI; slovenska okrajšava podjetja, ki je lansirala satelit NEMO-HD). Razvit je bil v sodelovanju z Inštitutom za vesoljske polete (*angleško Space Flight Laboratory*) Univerze v Torontu. NEMO-HD je osmerokotne oblike in ima maso 60 kg. Njegova osnovna naloga je raziskati nov koncept opazovanja Zemlje z združevanjem videa in večspektralnega snemanja

za interaktivne storitve daljinskega zaznavanja v skoraj realnem času, ki omogočajo dostavo izostrenih večspektralnih posnetkov in video izdelkov visoke ločljivosti (Rodič in sodelavci 2022). Primarna optična kamera zagotavlja pankromatske posnetke širine 10 km in prostorske ločljivosti 2,8 m ter večspektralne posnetke v štirih kanalih (R, G, B, NIR) s prostorsko ločljivostjo 5,6 m. Poleg tega sta na voljo dva video kanala z ločljivostjo 1920 × 1080 pikselov; eden v ločljivosti 2,8 m in širino snemalnega pasu 5 km ter drugi v ločljivosti 40 m in širino snemalnega pasu 75 km. Satelit je del sistema, ki združuje



Slika 2: Časovna vrsta posnetkov satelitov Sentinel 2, ki prikazujejo obseg požarišča v lažnih barvah, iz katerih je v temnejših barvah lepo razvidno širjenje pogorelih površin skozi čas (datum naveden na posameznem posnetku).

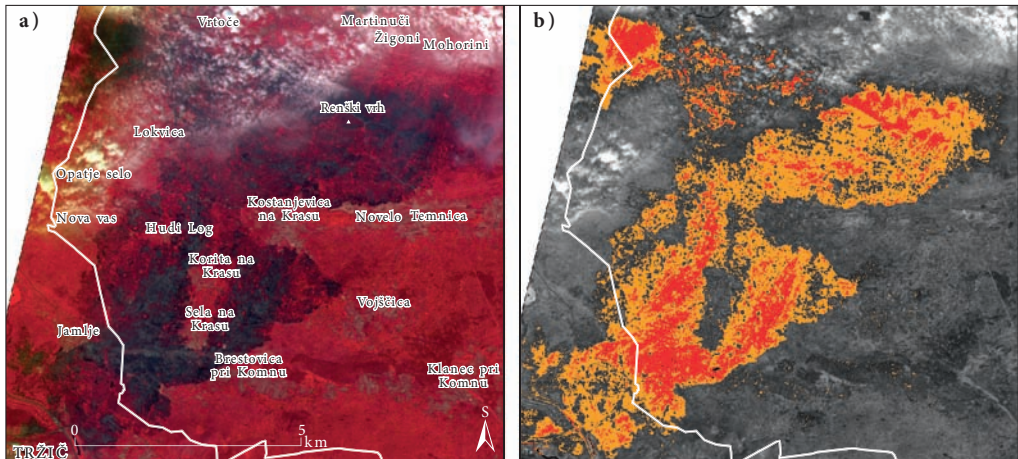


Slika 3: Spektralna primerjava NDVI pred (a) in po požarih (b) ter njuna razlika (c) med 4. julijem in 1. avgustom. Temno rdeča območja na sliki c so območja požarišča, črna črta na vseh slikah (a, b in c) pa je državna meja med Italijo in Slovenijo.

okretni mikrosatelit z novimi prenosnimi zemeljskimi postajami STREAM in napredno procesno verigo za obdelavo podatkov STORM, ki omogoča, da so satelitski posnetki uporabni za obdelavo in zagotavlja njihove produkte, kot na primer spletne karte. Glavne uporabnosti so namenjene spremljanju pametnih mest, porečij in morij ter opazovanju gozdov, kmetijskih zemljišč, gozdnih požarov, suš, poplav in invazivnih rastlin.

Požare na Krasu je NEMO-HD posnel 23. julija 2022 zjutraj, en teden od začetka gorenja (slika 4a). Na posnetku se zato vidi tudi dim. Satelit je poleg večspektralnega in pankromatskega posnetka posnel tudi video visoke ločljivosti.

Iz rdečega in bližnje infrardečega kanala posnetka NEMO-HD smo izračunali NDVI ter iz njegovih nizkih vrednosti opredelili območja, ki so jih prizadeli požari. Slika 4b prikazuje zaznavo požarišča. Huje prizadeta območja so prikazana z rdečo barvo, preostala, manj prizadeta območja, pa z oranžno.



Slika 4: Posnetek satelita NEMO-HD iz 23. julija 2022 v lažnih barvah (a) in rezultati zaznave prizadetega območja (b). Huje prizadeta območja so prikazana z rdečo barvo, manj prizadeta območja pa z oranžno. Bela črta označuje državno mejo.

Prizadeto območje, ki smo ga zaznali, se je raztezalo tudi v sosednjo Italijo, kjer smo opazili nekaj napačnih zaznav, predvsem v urbanem okolju (mesto Tržič in avtocesta). To je posledica dejstva, da so vrednosti NDVI na pozidanih površinah prav tako nizke, podobno kot pri pogorelih območjih.

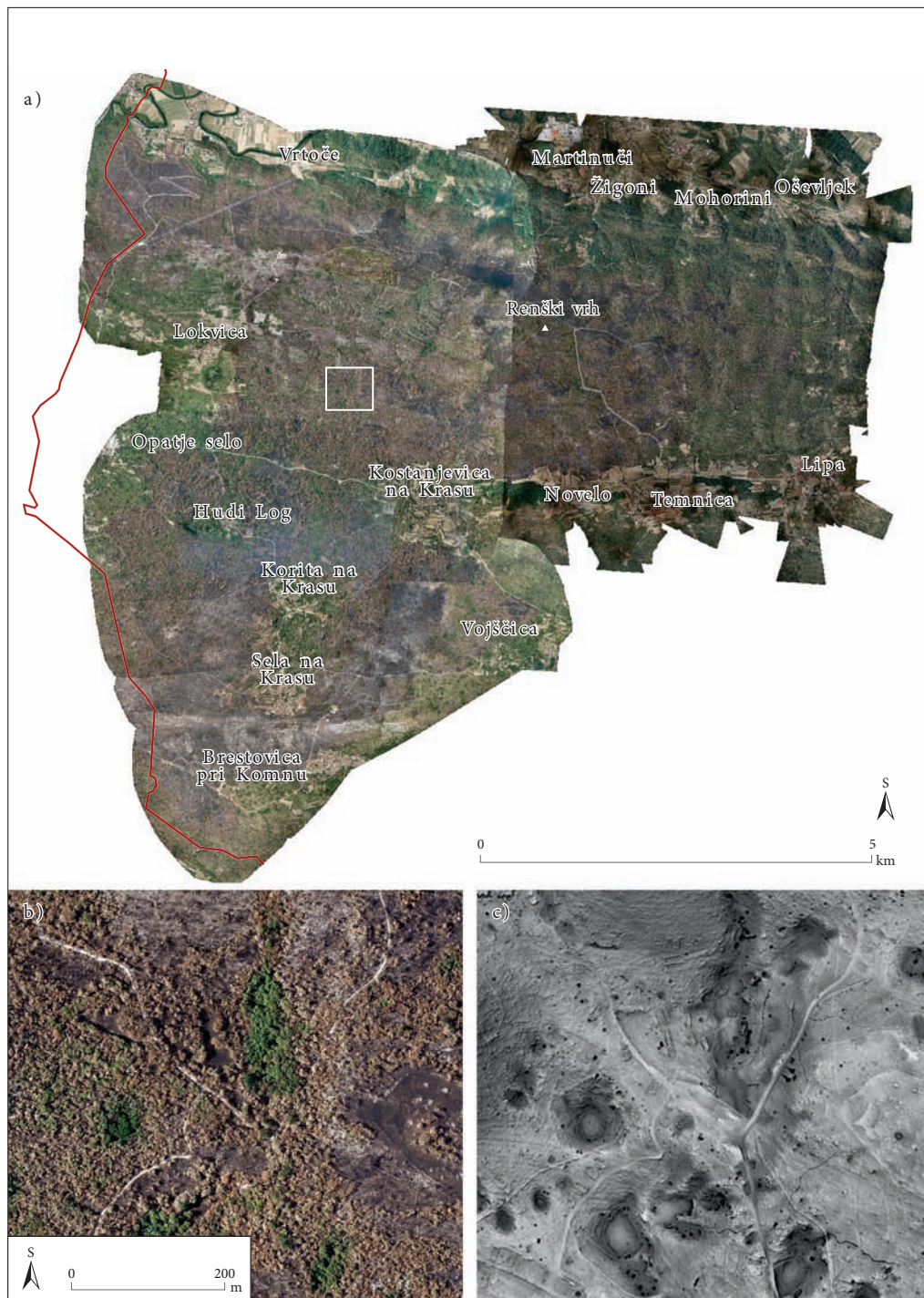
2.3 Posnetki brezpilotnih letalnikov

Takoj po koncu gorenja je ekipa podjetja C-ASTRAL v sodelovanju z laboratorijem SPEKTR-Z (Peljhan in SPEKTR-Z 2024) z brezpilotnima letalnikoma Bramor in Wingtra One posnela ter registrirala posnetke na območju Goriškega Krasa in izdelala ortofoto mozaik v prostorski ločljivosti 12 cm za potrebe pridobitve požarne ogroženosti gozdov (slika 5). Na Zavodu za gozdove Slovenije so nato na podlagi ročne fotointerpretacije določili površino poškodovanih območij na območju Slovenije in jo ocenili na skupno 3707 ha, od tega 2902 ha gozdov. Obenem so določili stopnjo poškodovanosti gozda in ugotovili, da je dobra tretjina gozdov na požarišču popolnoma pogorelih (1054 ha), polovica (1448 ha) pa je bila prizadetih med 50–90 %. Celotna pogorela površina v Sloveniji in Italiji naj bi skupaj obsegala kar okoli 4.500 ha (Košiček in sodelavci 2023).

Pri pregledu posnetkov požarišča smo opazili zelene površine ohranjene vegetacije in jih povezali z digitalnim modelom višin (sliki 5b in 5c). Ugotovili smo, da je gozd v večjih vrtačah in drugih večjih vdolbinah ostal nepoškodovan. Sklepamo, da ga je nižja lega zaščitila pred požari, ki so divjali na višjem terenu.

Slika 5: Območje požarov v Sloveniji, ki je bilo posneto s pomočjo laboratorija SPEKTR-Z z letalnikoma podjetja C-ASTRAL v začetku avgusta 2022 (na levi Wingtra One, na desni C-Astral Bramor) (a). Z rdečo barvo je prikazana državna meja med Italijo in Slovenijo, bel pravokotnik pa nakazuje lokacijo detajla na delih (b) in (c). Zelene zaplate preživele vegetacije, ki rastejo na območju večjih kraških vrtač in drugih vdolbin JV od griča Bršljanovec (b). Na podatkih aerolaserskega skeniranja so vrtače lepo vidne, prav tako tudi jarki, okopi, zakloni, zidovi stavb in druge ostaline prve svetovne vojne (c).

► (str. 138)



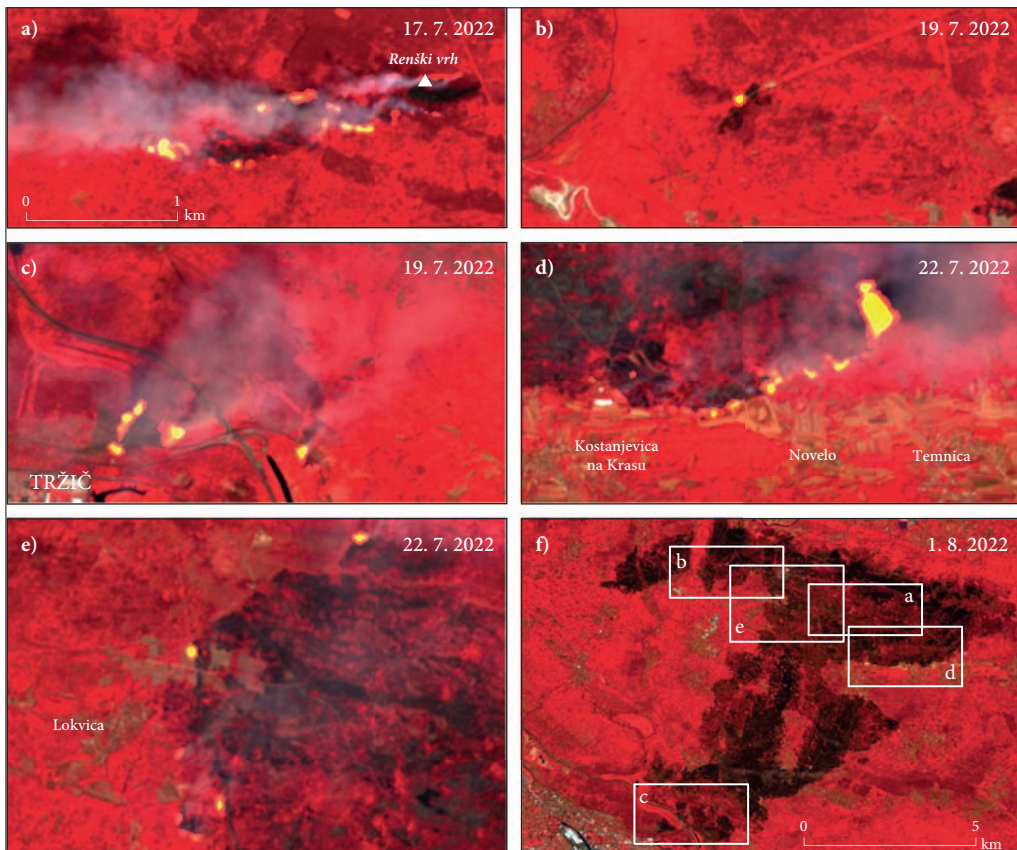
3 Rezultati in razprava

3.1 Primerjava obsega požarišča med različnimi sistemi

Za območje Slovenije smo z različnimi sistemi določili obseg požarišča (preglednica 1). Zavod za gozdove Slovenije je na podlagi posnetkov zajetih z brezpilotnim letalnikom površino pogorelega ozemlja določil na 3707 ha, največ med vsemi sistemi. S satelitskimi posnetki Sentinel-2, zajetimi pred in

Preglednica 1: Primerjava velikosti obseg požarišča zaznanega z različnimi sistemi.

Sistem opazovanja	pogorele površine [ha]	razmerje med pogorelimi površinami
Sentinel-2	3367	91 %
NEMO-HD	2450	66 %
brepilotni letalnik (ocena Zavoda za gozdove Slovenije)	3707	100 %



Slika 6: Aktivni požari v rumenih do svetlo rdečih tonih, kot smo ga zaznali na posnetkih Sentinel-2 različnih datumov. Deli slike a-e so v istem merilu, del (f) prikazuje lokacije izrezov.

po požarih, smo na osnovi razlike v NDVI identificirali območje, ki je približno za 350 ha manjše (3367 ha). Razliko pripisujemo manjši prostorski ločljivosti satelitskih posnetkov zaradi katere je velikost pogorelih površin podcenjena, zlasti na robovih požarišča. Najmanjšo pogorelo površino smo ocenili z obdelavo posnetka satelita NEMO-HD (2450 ha). To je pričakovano, saj je bil posnetek zajet v času, ko požar še ni nehal goreti in še ni dosegel največjega obsega. Deloma lahko manjši ocenjeni obseg pripišemo še prisotnosti oblakov na posnetku, zlasti na severozahodnem delu območja požarov.

3.2 Zaznavanje aktivnih požarov

Za ugotavljanje aktivnih požarov smo uporabili algoritem QuickFire (Markuse, 2022), ki s kombiniranjem kanalov satelitskega posnetka Sentinel-2 in upoštevanjem pragov spektralnih vrednosti prikaže območja ognja. Algoritem za ugotavljanje aktivnih požarov uporabi kanale srednje infrardeče svetlobe (B11, B12) in verjetnosti oblačnosti, izračunane s knjižnico s2cloudless (Aleksandrov in sodelavci 2020), za prikaze ostalega območja pa še kanale vidne svetlobe (B1, B2, B3, B4) in bližnje infrardeče svetlobe (B8, B8a). Območja aktivnih požarov poudari z rumenimi do rdečimi barvnimi toni. Slika 6 prikazuje približana območja z zaznanim aktivnim ognjem med 17. in 22. julijem. Na posnetkih drugih datumov ognja ni bilo mogoče zaznati.

4 Sklep

Ugotavljamo, da lahko s prosto dostopnimi in brezplačnimi posnetki ter razmeroma preprostimi analizami kartiramo pogorele površine in aktivne požare. V medijih so poročali, da naj bi požari na slovenskem in italijanskem delu Krasa obsegali med 2000 in 3700 hektarjev dela planote Kras v obeh državah (Gasar 2023; Intihar 2023). Z analizami podatkov daljinskega zaznavanja različnih sistemov smo določili obseg požarišča na območju Slovenije in jih primerjali med seboj. Največje območje pogorelih zemljišč so z ročno fotointerpretacijo podatkov brezpilotnih letalnikov C-Astral Bramor in Wingter One določili na Zavodu za gozdove Slovenije (3707 ha), sledita oceni na podlagi satelitov Sentinel-2 in NEMO-HD. Velikost požarišča je s satelitom Sentinel-2 podcenjena za 9%. Obema satelitskima sistemoma gre slabšo oceno pripisati njuni manjši prostorski ločljivosti. Pri NEMO-HD imata velik vpliv tudi datum snemanja in prisotnost oblakov. Prav tako smo uspeli zaznati v času snemanja aktivne požare, le da so ti omejeni na časovno in prostorsko ločljivost razpoložljivih senzorjev. Poleg omenjenega je treba upoštevati še finančne vidike pri uporabi podatkov v članku predstavljenih daljinsko zaznanih platform. Snemanje z brezpilotnimi letalniki zahteva precejšnja finančna sredstva, medtem ko lahko dostopamo do satelitskih podatkov obeh senzorjev brezplačno.

Opisane podatke daljinskega zaznavanja bi lahko uporabili tudi za spremljanje obnove gozdov po požarih. Na ta način bi lahko zagotovili ključne informacije za izboljšanje upravljanja in podporo obnovi ekosistemov po požarih v naravi, še posebej z analizami, ki temeljijo na kombinaciji omenjenih vrst daljinsko zaznanih podatkov. Prav tako bi lahko za izvedbo natančnih analiz uporabili napredne pristope strojnega učenja. Ti pristopi lahko vključujejo enostavnejše metode, kot so ključni gozdovi (Breiman 2001), ali računsko zahtevnejše metode, ki uporabljajo globoko učenje (npr. nevronska mreža U-Net (Ronneberger, Fischer in Brox 2015)).

ZAHVALA: Zahvaljujemo se laboratoriju SPEKTR Z, podjetju C-ASTRAL d. o. o., Mateju Bonetu, Jerneju Modercu, Samu Stoparju ter Mihi Mayerju za posredovanje procesiranih posnetkov, zajetih z brezpilotnimi letalniki, ter podjetju Vesolje-SI za posredovane posnetke satelita NEMO-HD. Raziskava je bila delno financirana s sredstvi Javne agencije za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije v okviru programov Antropološke in prostorske študije (P6-0079) ter Opazovanje Zemlje in geoinformatika (P2-0406).

5 Viri in literatura

- Aleksandrov, M., Lukšič, Ž., Milčinski, G., Ghandour, A.J., Schwehr, K., Lubej, M. 2020: Sentinel Hub's cloud detector for Sentinel-2 imagery. Medmrežje: <https://github.com/sentinel-hub/sentinel2-cloud-detector> (27.2.2024).
- Breiman, L. 2001: Random Forests. *Machine Learning* 45. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., Hoersch, B., Isola, C., Laberinti, P., Martimort, P., Meygret, A., Spoto, F., Sy, O., Marchese, F., Bargellini, P. 2012: Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote Sensing of Environment* 120. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>
- Gasar J.: 2023. Leto dni po požaru na Krasu: Lani žareča, letos spokojna Brestovica. Dnevnik. Medmrežje: <https://www.dnevnik.si/1043028555/lokalno/primorska/fotoreportaza-letost-dni-pozaru-na-krasu-lani-zareca-letos-spokojna-brestovica> (8.1.2024)
- Giglio, L., Boschetti, L., Roy, D.P., Humber, M.L., Justice, C.O. 2018: The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product. *Remote Sensing of Environment* 217. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.005>
- Guo, F., Su, Z., Wang, G., Sun, L., Tigabu, M., Yang, X., Hu, H. 2017: Understanding fire drivers and relative impacts in different Chinese forest ecosystems. *Science of The Total Environment* 605–606. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.219>
- Intihar, A. 2023. Goreči Kras julija lani in 280 dni kasneje. Delo. Medmrežje: <https://www.delo.si/novice/slovenija/goreci-kras-julija-lani-in-280-dni-kasneje/> (8.1.2024)
- Košiček, B., Poljanec, A., Kravanja, M., Reščič, M., Kolšek, M., Mori, J., Gasparič, B., Magajna, B., Zadnik, A., Sila, A., Sankovič, P., Jazbec, J., Šemrov, M., Breznikar, A., Rantaša, B., Stergar, M., Marenče, M., Pristovnik, D., Hrovat, T., Danev, G. 2023: Načrt sanacije gozdov poškodovanih v požaru Goriški Kras. Medmrežje: http://www.zgs.si/fileadmin/zgs/main/img/CE/varstvo/Nacrti_sanacije/20230130_NS_GoriskiKras_koncna.pdf (16.12.2023).
- Lentile, L., Holden, Z., Smith, A., Falkowski, M., Hudak, A., Morgan, P., Lewis, S., Gessler, P., Benson, N. 2006: Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. *International Journal of Wildland Fire* 15. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF05097>
- Liu, S., Zheng, Y., Dalponte, M., Tong, X. 2020: A novel fire index-based burned area change detection approach using Landsat-8 OLI data. *European Journal of Remote Sensing* 53. DOI: <https://doi.org/10.1080/22797254.2020.1738900>
- Markuse, P. 2022: QuickFire. Medmrežje: https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/markuse_fire/ (26.6.2023).
- Pehani, P., Veljanovski, T., Kokalj, Ž., Oštir, K. 2022: Šest let arhiva podatkov Sentinel-2 za Slovenijo. | Six years of Sentinel-2 archive of Slovenia. *Geodetski vestnik* 66. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2022.02.220-257>
- Peljhan, M., SPEKTR Z 2024. Oculos Super Ignes Vigilantes Volavimus (2022-). Zavod Projekt Atol, Ljubljana.
- Pérez-Cabello, F., Montorio, R., Alves, D.B. 2021: Remote sensing techniques to assess post-fire vegetation recovery. *Current Opinion in Environmental Science & Health* 21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100251>
- Rodič, T., Urbas, A., Fröhlich, H., Lamut, M., Bošnjak, M., Smerdu, A., Marsetič, A., Kokalj, Ž., Johnston-Lemke, B., Roth, N., Handojo, N., Grocott, S.C.O., Zee, R.E. 2022: NEMO-HD in-orbit results for agile scanning of cities, river basins and 3D objects by satellite video and multispectral cameras. 4S Symposium. Vilamoura, Portugalska.
- Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T. 2015: U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015*. Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28

- Thomaz, E.L., Pereira, P. 2021: Editorial overview: »Fire. Prevention, management and challenges.« *Current Opinion in Environmental Science & Health* 23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100301>
- Wang, L., Qu, J.J., Hao, X. 2008: Forest fire detection using the normalized multi-band drought index (NMDI) with satellite measurements. *Agricultural and Forest Meteorology* 148. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.06.005>
- Wooster, M.J., Roberts, G.J., Giglio, L., Roy, D.P., Freeborn, P.H., Boschetti, L., Justice, C., Ichoku, C., Schroeder, W., Davies, D., Smith, A.M.S., Setzer, A., Csiszar, I., Strydom, T., Frost, P., Zhang, T., Xu, W., de Jong, M.C., Johnston, J.M., Ellison, L., Vadrevu, K., Sparks, A.M., Nguyen, H., McCarty, J., Tanpipat, V., Schmidt, C., San-Miguel-Ayanz, J. 2021: Satellite remote sensing of active fires: History and current status, applications and future requirements. *Remote Sensing of Environment* 267. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112694>
- Zagalikis, G. 2023: Remote Sensing and GIS Applications in Wildfires. *Geographic Information Systems – Data Science Approach*. IntechOpen. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.111616>
- Zhao, Y., Huang, Y., Sun, X., Dong, G., Li, Y., Ma, M. 2023: Forest Fire Mapping Using Multi-Source Remote Sensing Data: A Case Study in Chongqing. *Remote Sensing* 15. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15092323>

DRAJV ZEMLJEVID: IZDELAVA SPLETNE GIS APLIKACIJE ZA PRIKAZ VOZNIH NAVAD IN PROMETNE VARNOSTI NA SLOVENSКИH CESTAH

Boštjan Kop, Nataša Golobič

Zavarovalnica Triglav, d. d.

bostjan.kop@triglav.si, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8894-2010>

natas.golobic@triglav.si, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7528-4086>

dr. Krištof Oštir, dr. Jernej Tekavec

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

kristof.ostir@fgg.uni-lj.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4887-7798>

jerne.j.tekavec@fgg.uni-lj.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6792-6885>

Anže Žnidaršič

Flycom Technologies, d. o. o.

anze.znidarsic@flycom.si

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610508885_12

UDK: 656.1(497.4)

91:659.2:004

IZVLEČEK

DRAJV zemljevid: izdelava spletne GIS aplikacije za prikaz voznih navad in prometne varnosti na slovenskih cestah

V prispevku predstavljamo namen in metodologijo izdelave spletne aplikacije DRAJV zemljevid. Aplikacija prikazuje prostorske podatke s področja cestnoprometne varnosti na podlagi anonimiziranih podatkov več kot 100.000 uporabnikov mobilne aplikacije DRAJV. DRAJV zemljevid je prvo javno dostopno spletno orodje v Sloveniji, ki podaja vpogled v vedenje voznikov na slovenskih cestah in prispeva k izboljšanju prometne varnosti. Spletna aplikacija je obenem učinkovito orodje za podporo odločanju lokalnim skupnostim in vsem deležnikom s področja varnosti v cestnem prometu pri načrtovanju razvoja prometne infrastrukture.

KLJUČNE BESEDE

DRAJV zemljevid, spletna aplikacija, GIS, prometna varnost, Zavarovalnica Triglav, Slovenija

ABSTRACT

DRAJV map: Creation of a web GIS application for displaying driving habits and traffic safety on Slovenian roads

In this paper, we present the purpose and methodology of creating the DRAJV zemljevid web application. The application displays spatial data from the field of road traffic safety based on anonymized data from more than 100,000 users of the DRAJV mobile application. The DRAJV zemljevid is the first publicly accessible online tool in Slovenia that provides insight into the behavior of drivers on Slovenian roads and contributes to improving traffic safety. The web application is also an effective tool for decision-making support for local communities and other stakeholders in the area of road safety when planning the development of road infrastructure.

KEY WORDS

DRAJV zemljevid, web application, GIS, road safety, Zavarovalnica Triglav, Slovenia

1 Uvod

Prometne nesreče v cestnem prometu ostajajo obsežen globalni zdravstveni in razvojni izziv. Po podatkih Svetovne zdravstvene organizacije so bile prometne nesreče leta 2019 vodilni vzrok smrti otrok in mladih, starih od 5 do 29 let, in dvanajsti najpogostejši vzrok smrti, če so upoštewane vse starosti, ocenjeno skupno število smrtnih žrtev na cestah pa je 1,19 milijona. Več kot polovica smrtnih žrtev je med pešci, motoristi in kolesarji (Global status report ... 2023).

Več kot polovica vseh držav članic Združenih narodov je med letoma 2010 in 2021 zmanjšala število smrtnih žrtev v cestnem prometu. Kljub temu, da se je svetovni vozni park med letoma 2010 in 2021 več kot podvojil, da so se cestna omrežja znatno razširila in se je svetovno prebivalstvo povečalo za skoraj milijardo, je prišlo do rahlega zmanjšanja smrtnih žrtev. To kaže, da so prizadevanja za izboljšanje varnosti na cestah učinkovita (Global status report ... 2023). Pozitivni trendi se nakazujejo tudi v Sloveniji. Na slovenskih cestah je v letu 2022 skupno umrlo 85 ljudi oziroma 29 manj kot v letu 2021, kar pomeni 25-odstotno zmanjšanje (Pregled stanja varnosti ... 2023).

Preventivno delovanje na področju cestne varnosti oziroma zmanjševanja tveganja za nastanek prometnih nesreč je eno izmed poglobitvenih področij delovanja zavarovalnic po vsem svetu. Pogosto zavarovalnice spodbujajo svoje zavarovance k uporabi naprednih aktivnih asistenčnih sistemov v vozilih (ABS in ESP, radarski tempomat, sistem za nadzor nad smerjo vozila, asistenca za mrtvi kot ...), izobražujejo in informirajo (e-novičniki, priročniki, popusti pri tečajih varne vožnje, uporaba simulatorjev vožnje), izvajajo telematične oziroma tako imenovane *Usage-Based Insurance* programe ter to pogojujejo z zniževanjem zavarovalne premije, sodelujejo v družbeno odgovornih projektih, se povezujejo z lokalnimi skupnostmi in šolami, sofinancirajo preventivne ukrepe in kampanje in podobno. Zavarovalnica Triglav že od leta 2015 ponuja mobilno aplikacijo DRAJV, ki s pomočjo tehnologij telematike zbira podatke o uporabnikovi vožnji in sicer (Kop s sodelavci 2022):

- hitrost vožnje za spremljanje upoštevanja predpisanih omejitev hitrosti;
- premike telefona za analizo uporabe telefona med vožnjo in
- merjenje sil med vožnjo za spremljanje prekomernih pospeševanj, zaviranj in voženj v ovinek.

Zbrani podatki se uporabijo za izračun ocene varnosti posamezne vožnje. Ocena je skupaj s podrobno analizo posameznih parametrov ocenjevanja in grafičnim prikazom na voljo uporabniku v mobilni aplikaciji. Kot varna vožnja se upošteva vožnja z oceno vsaj 90 točk (Kop s sodelavci 2022). Varni vozniki, ki v ocenjevalnem obdobju dosegajo vsaj 90 od 100 možnih točk ter mesečno prevozijo določeno razdaljo voženj, so nagradjeni s popustom na premijo izbranih avtomobilskih zavarovanj. Interne poslovne analize Zavarovalnice Triglav kažejo, da pri zavarovancih, ki uporabljajo aplikacijo DRAJV, zasledimo od 15 do 20 odstotkov manj škodnih dogodkov v primerjavi z zavarovanci, ki aplikacije ne uporabljajo. Slednje potrjuje pozitiven vpliv aplikacije DRAJV na varnejšo vožnjo in vozne navade uporabnikov (Kop s sodelavci 2022).

Uporabniki so z aplikacijo DRAJV opravili že več kot 60 milijonov voženj v skupni razdalji več kot 1,5 milijarde kilometrov. Prostorske analize anonimiziranih podatkov o načinu vožnje uporabnikov so pokazale, da na nekaterih cestnih odsekih prihaja do pogostejših prekoraitev omejitev hitrosti vožnje, podobno pa velja tudi za ostale parametre, ki jih beleži aplikacija DRAJV.

V Zavarovalnici Triglav smo se odločili, da zbrane podatke aplikacije DRAJV v anonimizirani in agregirani obliki kartografsko predstavimo javnosti ter tudi na tak način okrepimo svojo preventivno dejavnost. Podatki so predstavljeni v obliki javno dostopne spletne aplikacije, poimenovane DRAJV zemljevid, ki za območje Slovenije prikazuje območja prekoraitev hitrosti, uporabe oziroma premikov telefona in prekomerno zaznanih sil pri pospeševanju, zaviranju in vožnji (DRAJV zemljevid 2024). Prikaz temelji na anonimiziranih in agregiranih podatkih več kot 100.000 uporabnikov mobilne aplikacije DRAJV in tako omogoča nov vpogled v način vožnje na slovenskih cestah.

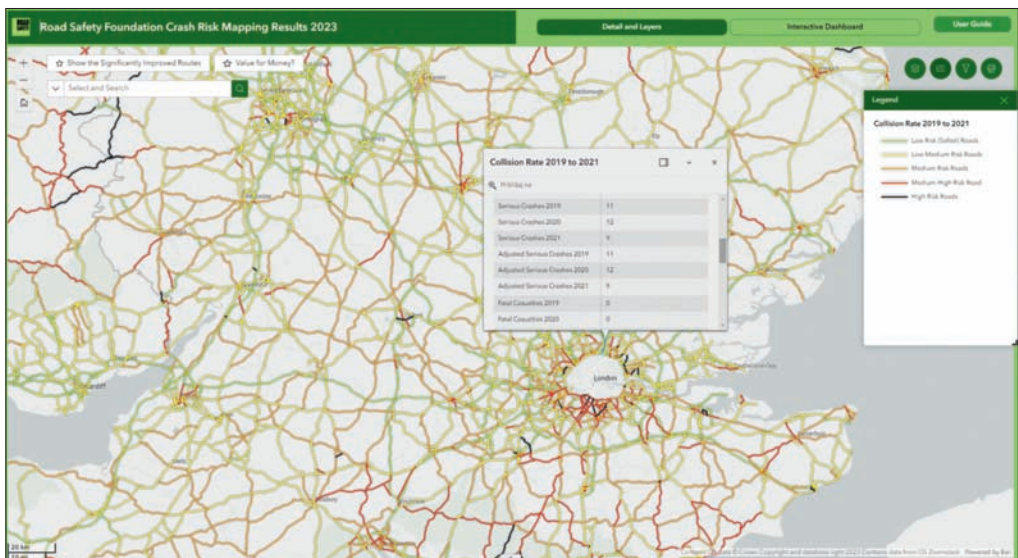
Namen prispevka je predstaviti metodologijo, pripravo podatkov in tehnično izvedbo izdelave spletne aplikacije DRAJV zemljevid. Naši glavni cilji so bili analiza in agregacija DRAJV podatkov, priprava

podatkovnih slojev, tehnična vzpostavitev spletne aplikacije DRAJV zemljevid in njena integracija na spletišče Zavarovalnice Triglav ter popis funkcionalnosti aplikacije, s katerim smo predstavili končno podobo in uporabnost geoinformacijske rešitve. Pregledali smo tudi podobne spletne aplikacije s področja prometne varnosti.

2 Pregled podobnih spletnih aplikacij

Pri spletnih aplikacijah in kartografskih prikazih na področju prometne varnosti v Sloveniji in tujini najdemo več rešitev. Aplikacija Zemljevid prometnih nesreč Javne agencije Republike Slovenije za varnost prometa (2024) na primer prikazuje prometne nesreče z dodatnimi atributi, pridobljenimi iz statističnih virov Policije. Spletna stran Promet.si omogoča pregled in podatke števec prometa za državne in regionalne ceste ter zemljevid prometnih dogodkov v realnem času (Promet.si 2024; Promet.si: Števec prometa 2024), širši javnosti manj dostopni pa so tudi različni zemljevidi lokacij števec in merilnikov hitrosti z dodatnimi informacijami (povprečne, maksimalne zaznane hitrosti in tako dalje), kot na primer Zemljevid merilnikov hitrosti podjetja Sipronika (2024).

V tujini različne kartografske prikaze prometnih nesreč dopolnjujejo s statistikami, opisi, slikovnim gradivom in točkovnim ali linijskim prikazom podatkov. V večjih mestih v Španiji ena izmed zavarovalnic z interaktivnim zemljevidom omogoča vpogled v vroče točke oziroma območja prometnih nesreč in k dopolnjevanju spodbuja tudi javnost (Fundación Línea Directa ... 2024). Yorška policija razpolaga s spletno interaktivno karto, opremljeno z analitiko prometnih nesreč (York Regional Police ... 2024), specializirana podjetja pa ponujajo izbrane prikaze lokacij prometnih nesreč z osnovnimi informacijami, ki jih lahko razširijo z dodatnimi poročili in analizami (Crashmap.co.uk 2022). V posameznih državah modelirajo tudi linijske gostote nesreč ter omogočajo točkovni prikaz prometnih nesreč z opisom (Road Safety Foundation ... 2024; Unfallatlas Deutschland 2024). Podjetje Nexar izdejuje zelo podrobne vedenjske zemljevide v realnem času za potrebe izboljšanja tehnologije samovozečih



Slika 1: Zaslonska slika interaktivne spletne aplikacije britanske organizacije Road Safety Foundation, ki prikazuje statistično tveganje prometne nesreče s smrtnim izidom ali resnimi poškodbami na britanskih cestah za obdobje 2019–2021 (Road Safety Foundation ... 2024).

vozil. Ti temeljijo na agregiranih in anonimiziranih podatkih več sto tisoč uporabnikov. Iz podatkov gibalnih senzorjev in avto kamer (angleško *dashcam*) ter s pomočjo umetne inteligence ustvarjajo podrobno in statistično pomembno sliko vedenja voznikov na cestah v Združenih državah Amerike. Vedenjski zemljevidi niso na voljo javnosti (Mamane 2023).

Enega bolj inovativnih pristopov je ubrala nizozemska zavarovalnica ANWB, ki s svojim telematičnim programom zbira anonimizirane podatke prekoračitev hitrosti in prekomerno zaznanih sil med vožnjo svojih zavarovancev. Podatki več kot 75.000 voznikov so v spletnem GIS pregledovalniku na voljo lokalnim oblastem, predvsem pa dvesto upravljalcem cest, ki storitev redno uporabljajo pri pregledu stanja in prometnem načrtovanju za izboljšanje varnosti vseh udeležencev v prometu (ANWB 2023).

Obstoječi kartografski prikazi so torej usmerjeni predvsem v prikazovanje prometnih nesreč, manj pa v druge vrste pojavov in dogodkov prometne varnosti.

3 Priprava podatkov in metode dela

Za izdelavo spletne aplikacije DRAJV zemljevid smo kot vhodne podatke uporabili lokacije o dogodkih med vožnjo, ki se zbirajo z aplikacijo DRAJV, skupaj s pripadajočimi atributi (v nadaljevanju DRAJV dogodki). Za nazoren prikaz informacij, ki jih ponujajo pridobljeni podatki, smo poleg dogodkov uporabili tudi druge prostorske podatke z lastnostmi, ki jih predstavljamo v nadaljevanju.

3.1 DRAJV dogodki

Dogodki, ki jih zabeleži aplikacija DRAJV, se delijo na pet osnovnih skupin:

- prekoračitve omejitve hitrosti,
- premiki telefona,
- prekomerne zaznane sile pri pospeševanju,
- prekomerne zaznane sile pri zaviranju,
- prekomerne zaznane sile pri vožnjah v ovinek.

Hkrati se posameznim DRAJV dogodkom določi tudi kategorija oziroma stopnja odstopanja od mejnih vrednosti. Kategorizacijo smo določili v okviru algoritma ocenjevanja voženj, ki je v domeni Zavarovalnice Triglav, pri čemer višja stopnja pomeni višje odstopanje od mejnih vrednosti oziroma v primeru hitrosti vožnje višje odstopanje od omejitve vožnje na posameznem cestnem odseku.

3.2 Podatki o cestnem omrežju

Podatki posameznih DRAJV dogodkov vključujejo lokacijo posameznega dogodka, vendar ne vsebujejo podatkov o pripadajočem cestnem odseku. V obdelavi smo zato uporabili vektorski podatkovni sloj cest in dogodke pripisali posameznim cestnim odsekom. Uporabili smo prosto dostopne vektorske podatke cestnega omrežja OpenStreetMap (v nadaljevanju OSM). OSM podatki so bili izbrani zaradi enostavne dostopnosti in skladnosti z odprtokodnimi spletnimi storitvami. Slednje zagotavlja tudi skladnost kartografskih podlag in cestnega sloja v spletni aplikaciji. Podatke o cestah smo pridobili s paketnim prenosom s spletnega strežnika Geofabrik (2023) za območje Slovenije.

3.3 Teselacija H3

H3 je hierarhični geoprostorski indeks, ki ga je razvilo podjetje Uber. Uporablja heksagonalno mrežo za razdelitev sveta na celice ter omogoča agregacijo in modeliranje podatkov. Analiza velikega števila dogodkov na najbolj natančni ravni oziroma na točno določeni lokaciji je procesno zahtevna in zahteva visoko računsko moč. Analiza se zato običajno izvede na višji ravni, na primer na ravni mestnih

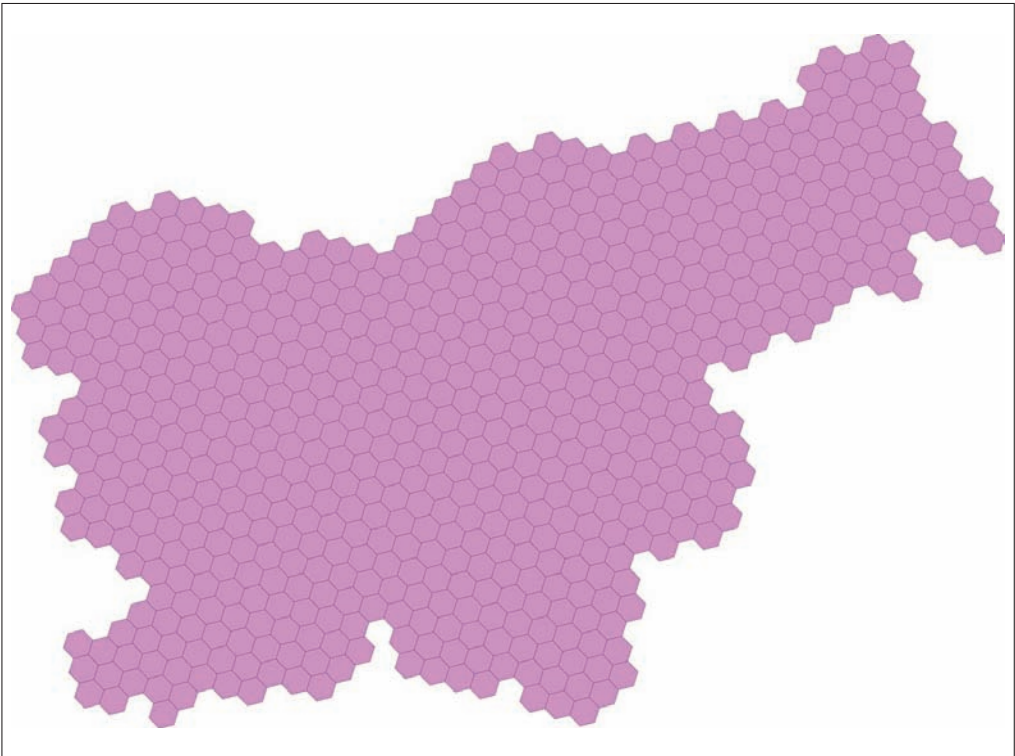
sosesk, regij ali pravilnih mrež. H3 uporablja heksagonalno mrežo za razdelitev izbranih dogodkov na heksagonalna območja, imenovana tudi celice. H3 poligoni prikazujejo zvezno ploskev, ki je razdeljena na enake šestkotnike na različnih velikostnih ravneh. Teselacijo so odprto objavili in jo lahko uporablja vsakdo (Brodsky 2018). H3 šestkotnike na ravni 7 smo uporabili kot osnovne prostorske enote, ki smo jim pripisali agregirane podatke o zabeleženih DRAJV dogodkih. Velikostna raven 7 prav tako prikazuje vizualno dovolj jasno razdelitev Slovenije, če jo v spletnem vmesniku aplikacije prikažemo v celotnem obsegu. Površina posameznega poligona je $\sim 4 \text{ km}^2$.

3.4 Obdelava in povezovanje podatkov

Za shranjevanje in upravljanje podatkov smo vse podatke uvozili v podatkovno bazo PostgreSQL z razširitvijo PostGIS. Za migracijo in pretvorbo podatkov različnih formatov (*shapefile* za cestno omrežje, *csv* za DRAJV dogodke, *geopackage* za H3 poligone) smo uporabili ETL orodje *FME Workbench*.

Spletna aplikacija je omejena na območje Slovenije, zato smo obdržali le podatke o DRAJV dogodkih v Sloveniji. Zaradi velike količine podatkov (več kot 102 milijona DRAJV dogodkov znotraj območja Slovenije v obdobju od leta 2021 do vključno leta 2023) smo Slovenijo razdelili na kvadratna območja velikosti $5 \times 5 \text{ km}$. Vsakemu območju smo določili enolično oznako, ki smo jo pripisali DRAJV dogodkom znotraj posameznega območja.

Podatke o cestnem omrežju OSM smo že ob prenosu omejili na območje Slovenije, pri čemer smo ohranili le odseke cest, ki so dostopna z vozili (atribut *fclass*). Cestno omrežje je v podatkih razdeljeno na odseke, vsak s svojimi določenimi atributi, kot so hitrostna omejitve in kategorija ceste. Dolžina



Slika 2: H3 teselacija Slovenije na ravni 7 (Brodsky 2018).

cestnih odsekov se s tem lahko močno razlikuje, najdaljši odsek v Sloveniji meri nekaj več kot 13 km. Glede na povezavo DRAJV dogodkov z odseki cest bi takšna raznolikost dolžin posplošila število dogodkov na dolgih odsekih.

Za poenotenje dolžin odsekov smo izvedli dve obdelavi. Najprej smo odseke združili glede na hitrostno omejitev, nato pa smo jih razdelili na krajše odseke. Dolžino odseka za avtoceste smo določili na 1000 m, za ostale kategorije cest pa na 200 m. Tako pripravljenim odsekom cest smo pripisali tudi identifikator območja (celice 5×5 km). Ustvarjeno podatkovno bazo smo pregledali ter odpravili sistematične napake in šume v podatkih.

3.5 Priprava podatkovnih slojev

Vsem DRAJV dogodkom smo pripisali pripadajoči H3 poligon in odsek ceste. Nato smo za vsak poligon izračunali število DRAJV dogodkov po posameznih stopnjah in število delili z razdaljo cestnega omrežja znotraj posameznega poligona. Na ta način smo izračunali število DRAJV dogodkov za vseh pet skupin (prekoračitve hitrosti, premiki telefona, prekomerne sile pri pospeševanju, zaviranju in vožnji v ovinek) na km cestnega omrežja in tako ustvarili generaliziran sloj, uporaben za prikaz informacij na zemljevidih manjših meril.

Povezovanje DRAJV dogodkov z odseki cest je bilo zahtevnejše, saj se lokacije dogodkov zaradi različne natančnosti podatkovnih virov, ki med seboj niso popolnoma skladni, ne ujemajo s potekom cest. DRAJV dogodke smo zato najprej premaknili na odseke cest. Za premik smo uporabili funkcijo, ki izbere najbližji odsek, a le do razdalje 10 m okrog odseka, da smo se izognili pripisovanju dogodkov na napačne odseke. Za vsak cestni odsek smo nato v atributno tabelo zapisali število DRAJV dogodkov za vsako leto in stopnjo dogodka posebej.

Skupno smo pripravili deset podatkovnih slojev (pet za generalizirane sloje in pet za sloje cestnih odsekov). V atributni tabeli smo zapisali število dogodkov za vsako leto in stopnjo dogodka posebej, kar trenutno pomeni devet atributov (tri leta in tri stopnje). Podatki so pripravljeni v formatu *geopackage* v koordinatnem sistemu EPSG 3794 (Slovenia 1996 / Slovene National Grid) in na voljo za prenos iz spletne aplikacije za nadaljnje raziskave.

Pripravljene podatkovne sloje smo uvozili v zaledni geografski informacijski sistem in jih razvrstili v pet kategorij glede na pogostnost odstopanj od dovoljenih vrednosti (najnižja, nizka, srednja, visoka in najvišja pogostnost). V zaledni sistem smo uvozili tudi javno dostopne podatke o lokacijah osnovnih šol in vrtcev ter prometnih nesreč za leta 2021, 2022 in 2023 (Evidenca vzgojno-izobraževalnih ... 2024). Podatki o prometnih nesrečah zajemajo prometne nesreče, pri ogledu katerih je sodelovala policija (Prometna varnost ... 2024). Posameznim kategorijam podatkovnih slojev smo določili tudi ustrezno barvno simbologijo in ikonografijo.

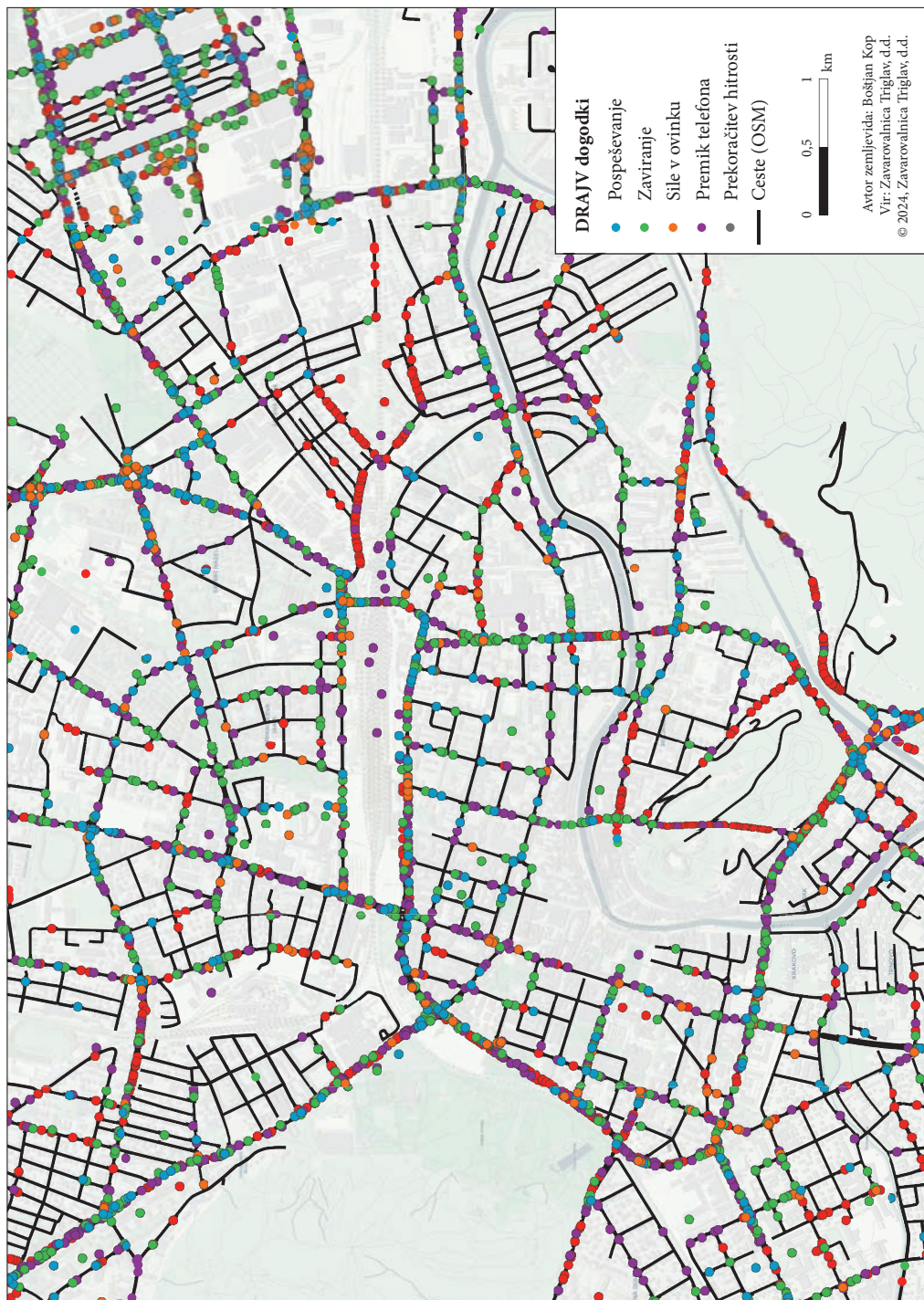
4 Tehnična infrastruktura aplikacije

DRAJV zemljevid je spletna aplikacija, izdelana v obliki odzivne spletne strani (angleško *responsive web design*), ki se prilagaja na velikost uporabnikovega zaslona. S tem jo je možno uporabljati tako na večjih napravah kot tudi na mobilnih telefonih. Ker gre za spletno aplikacijo, uporabnikom ni potrebno nameščati nobene programske opreme, prav tako so vsem vidne posodobitve.

Spletna aplikacija izgleda preprosto in nudi intuitivno uporabniško izkušnjo. Temelji na celostnem zalednem geoinformacijskem sistemu, ki omogoča uvoz podatkov v lokalnih koordinatnih sistemih, posodabljanje podatkov in napredne integracije z drugimi sistemi. Aplikacija temelji na odprtokodnih

Slika 3: Zemljevid s prikazanimi DRAJV dogodka in cestnim omrežjem na območju središča Ljubljane.

► (str. 149)



tehnologijah, ki so združene v platformi LIFT podjetja Flycom Technologies, d. o. o. Aplikacija na strežniški ravni temelji na arhitekturi mikrorstitev in kot takšna omogoča visoko skalabilnost. Na podatkovni ravni je uporabljena odprtokodna podatkovna zbirka *PostgreSQL*, ki z razširitvijo *PostGIS* omogoča napredne prostorske funkcije. Vsi podatki se prenašajo v standardnih odprtih formatih, ki jih predpisuje standardna organizacija Open Geospatial Consortium.

Aplikacija DRAJV zemljevid lahko deluje samostojno ali z ustrezno integracijo kot del obstoječe spletne strani. Aplikacijo smo integrirali na spletišče Zavarovalnice Triglav ter jo povezali z URL naslovom <https://dravj.triglav.si/zemljevid>. S tem se obenem odpirajo možnosti vključitve aplikacije tudi v druge mobilne ali spletne aplikacije Zavarovalnice Triglav.

5 Funkcionalnosti aplikacije

Spletna aplikacija DRAJV Zemljevid prikazuje agregirane in anonimizirane podatke voženj več kot 100.000 uporabnikov mobilne aplikacije DRAJV, in sicer območja, kjer je algoritem ocenjevanja voženj v mobilni aplikaciji zaznal prekoračitev mejnih vrednosti posameznih ocenjevalnih parametrov. V aplikaciji so prikazani tudi javno dostopni podatki o lokacijah osnovnih šol, vrtcev in prometnih nesreč v aktualnem obdobju z izbranimi atributi.

V aplikaciji so prikazani naslednji podatkovni sloji:

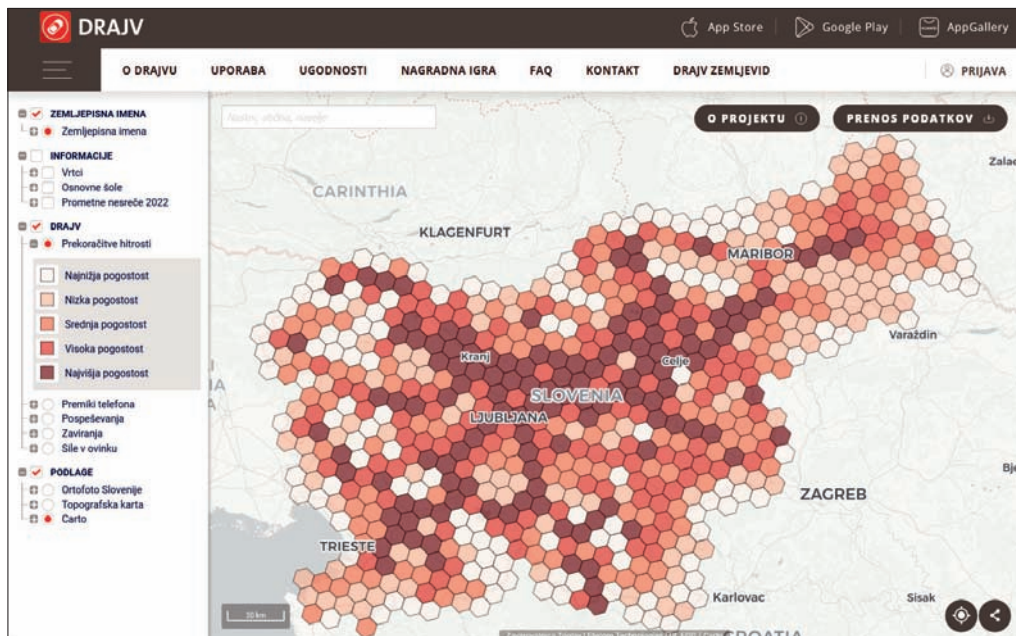
- zemljepisna imena;
- lokacije osnovnih šol in vrtcev z izbranimi atributi;
- lokacije prometnih nesreč v aktualnem obdobju z izbranimi atributi;
- število prekoračitev hitrosti na posameznem cestnem odseku (kategorizirani na pet kategorij glede na stopnjo pogostnosti);
- število premikov telefona na posameznem cestnem odseku (kategorizirani na pet kategorij glede na stopnjo pogostnosti);
- število zabeleženih prekomernih sil pri pospeševanju na posameznem cestnem odseku (kategorizirani na pet kategorij glede na stopnjo pogostnosti);
- število zabeleženih prekomernih sil pri zaviranju na posameznem cestnem odseku (kategorizirani na pet kategorij glede na stopnjo pogostnosti);
- število zabeleženih prekomernih sil pri vožnjah v ovinek na posameznem cestnem odseku (kategorizirani na pet kategorij glede na stopnjo pogostnosti);
- kartografske podlage: ortofoto Slovenije, topografska karta OpenStreetMap in topografska karta Carto.

Ob kliku na posamezni element podatkovnih slojev se prikažeta pojavno okno s prikazom izbranih atributov sloja in 360-stopinjski panoramski posnetek lokacije. Ob spreminjanju oziroma večanju merila zemljevida se pri slojih, ki prikazujejo podatke, zbrane z aplikacijo DRAJV, pogled avtomatično spremeni iz generaliziranih podatkovnih slojev v sloje cestnih odsekov.

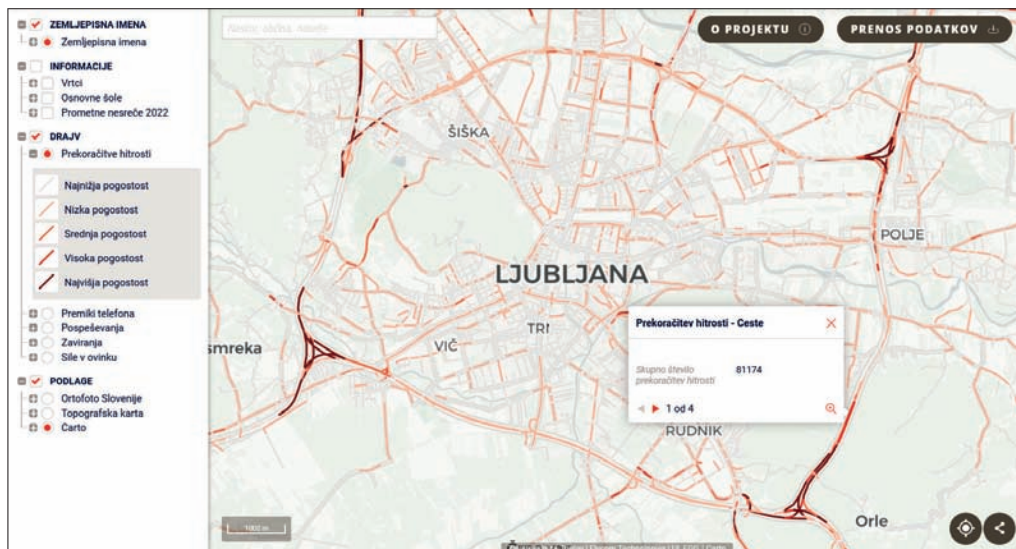
Dodatne funkcionalnosti aplikacije vključujejo možnost iskanja lokacij po zemljepisnih imenih in koordinatah, deljenje povezave do pogleda zemljevida preko izbranih družbenih omrežij in spletni obrazec z možnostjo prenosa podatkov, pripravljenih v okviru izdelave spletne aplikacije. Metodologija priprave podatkov in opis podatkovnih slojev sta priložena v podatkovnem paketu v formatu *zip*.

6 Sklep

Tehnologije telematike v povezavi s tehnologijami, vključene v pametne telefone, ki jih uporablja večina posameznikov v razvitih družbah, omogočajo zbiranje večjih količin podatkov o načinu vožnje posameznikov ter s tem podajajo vpogled v dogajanje v prometu. Telematični programi, kakršne v obliki mobilne aplikacije DRAJV ponuja tudi Zavarovalnica Triglav, in podatki, ki se zbirajo v okviru



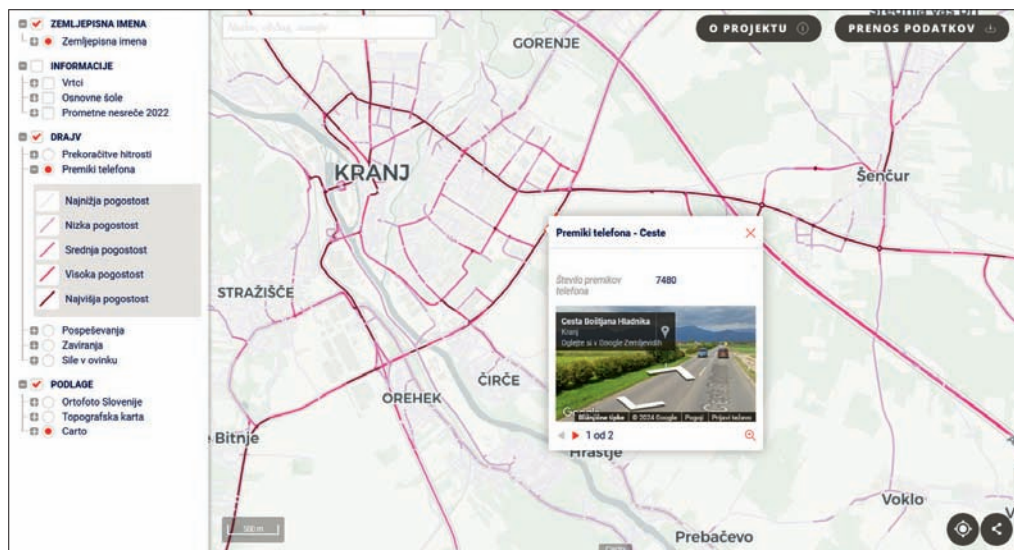
Slika 4: Zaslonska slika za začetnim pogledom spletne aplikacije DRAJV zemljevid. Prikazana so generalizirana območja s številom prekrščitvev hitrosti na km cestnega omrežja v posameznem poligonu.



Slika 5: Zaslonska slika aplikacije DRAJV zemljevid, ki prikazuje število prekrščitvev hitrosti na posameznih cestnih odsekih na širšem območju Ljubljane.



Slika 6: Zaslonska slika aplikacije DRAJV zemljevid, ki prikazuje število prekoraitev hitrosti in lokacije prometnih nesreč na območju avtocestnega razcepa Malence.



Slika 7: Zaslonska slika aplikacije DRAJV zemljevid, ki prikazuje število zaznanih premikov telefona na cestnih odsekih na širšem območju Kranja.

takšnih programov, imajo s primernimi analizami in načini vizualizacije izredno diagnostično in analitično moč pri odkrivanju vzorcev nevarnih situacij in dogodkov v cestnem prometu. Na podlagi raziskave smo opazili, da rezultati analiz podatkov pogosto niso na voljo javnosti ali pa je dostop omejen na posamezne, večinoma državne institucije.

Spletna aplikacija DRAJV zemljevid je javno dostopno spletno orodje, z uporabo katerega lahko deležniki na področju prometne varnosti prispevajo k njenemu izboljšanju. Pri izdelavi orodja smo posebno pozornost namenili intuitivni uporabniški izkušnji in načinu vizualizacije podatkov na zemljevidu, kar odpira vrsto priložnosti za jasnejše informiranje, sprejemanje odločitev na podlagi podatkov v prostoru, prometno načrtovanje ter kasneje tudi spremljanje učinka morebitnih infrastrukturnih ukrepov. V povezavi z drugimi sistemi in metodami pa lahko prispevajo k pozitivnim sinergijskim učinkom in izboljšanju prometne varnosti in s tem varnosti celotne skupnosti.

Pri nadaljnjih raziskavah se za obdelavo in prikaz podatkov nakazuje tudi možnost uporabe orodij umetne inteligence, predvsem pri iskanju vzročno-posledičnih povezav med posameznimi podatkovnimi sloji ter izdelavi napovednih modelov z namenom izboljšanja varnosti v cestnem prometu. V letu 2023 je bila neprilagojena hitrost namreč še vedno eden izmed glavnih vzrokov za nastanek prometnih nesreč oziroma najpogostejši vzrok za nastanek prometnih nesreč s smrtnim izidom (Pregled stanja varnosti ... 2024).

7 Viri in literatura

- ANWB, 2023. Medmrežje: <https://www.anwb.nl/verkeer/veiligheid/data-verkeersveiligheid> (9. 2. 2024).
- Brodsky, I. 2018: H3: Uber's Hexagonal Hierarchical Spatial Index. Medmrežje: <https://www.uber.com/en-SI/blog/h3/> (3. 5. 2023).
- Crashmap.co.uk, 2022: CrashMap Data: Great Britain 1999–2022 (verified). Medmrežje: <https://www.crashmap.co.uk/Search> (12. 2. 2024).
- DRAJV zemljevid, 2024. Medmrežje: <https://drajv.triglav.si/zemljevid> (13. 2. 2024).
- Evidenca vzgojno-izobraževalnih zavodov in vzgojno-izobraževalnih programov. Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport. Ljubljana, 2009. Medmrežje: <https://paka3.mss.edus.si/registriweb/default.aspx> (12. 2. 2024).
- Fundación Línea Directa: Puntos rojos. Medmrežje: <https://www.fundacionlineadirecta.org/puntos-rojos> (10. 2. 2024).
- Geofabrik, 2023. Medmrežje: <https://download.geofabrik.de/> (3. 5. 2023).
- Global status report on road safety. World Health Organisation. Geneva, 2023. Medmrežje: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/375016/9789240086517-eng.pdf?sequence=1> (13. 2. 2024).
- Kop, B., Golobič, N., Kolbl, E., Jereb Planinšek, Š., Klement, J., Nograšek, S., Adamec, J., Polgár, M. 2022: Uporaba telematike in geografskih informacijskih sistemov v zavarovalništvu – primer mobilne aplikacije DRAJV. Preteklost in prihodnost, GIS v Sloveniji 16. DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_19
- Mamane, R. 2023. Behavioral maps: How real-time driving patterns are uncovering the actual rules of the road. Medmrežje: <https://mamane.medium.com/nexar-behavioral-maps-bff1b6bd1c26> (9. 2. 2024).
- Pregled stanja varnosti cestnega prometa v letu 2022, 2023. Javna agencija Republike Slovenije za varnost prometa. Medmrežje: <https://www.avp-rs.si/wp-content/uploads/2023/04/analiza-in-pregled-stanja-varnosti-cestnega-prometa-v-letu-2022.pdf> (13. 2. 2024).
- Pregled stanja varnosti cestnega prometa v letu 2023, 2024. Javna agencija Republike Slovenije za varnost prometa. Medmrežje: https://www.avp-rs.si/wp-content/uploads/2024/02/stanje-prometne-varnosti-2023_uradni-podatki.pdf (23. 4. 2024).
- Promet.si. Medmrežje: <https://www.promet.si/sl/map> (13. 2. 2024).
- Promet.si: Števci prometa. Medmrežje: <https://www.promet.si/sl/stevci-prometa> (13. 2. 2024).

- Prometna varnost, statistične datoteke – navodila. Policija. Medmrežje: <https://www.policija.si/o-slovenski-policiji/statistika/prometna-varnost/prometna-varnost-statisticne-datoteke-navodila> (13. 2. 2024).
- Road Safety Foundation Crash Risk Mapping Results 2023. Road Safety Foundation. Medmrežje: <http://rsfmaps.agilysis.co.uk/> (12. 2. 2024).
- Unfallatlas Deutschland, 2024. Statistische Ämter des Bundes und der Länder. Medmrežje: <https://unfallatlas.statistikportal.de/> (12. 2. 2024).
- York Regional Police Road Safety Map. Medmrežje: <https://www.arcgis.com/apps/dashboards/c2b2fb4a35de4e8e808eab47175e8083> (12. 2. 2024).
- Zemljevid merilnikov hitrosti. Sipronika. Ljubljana, 2024.
- Zemljevid prometnih nesreč. Javna agencija Republike Slovenije za varnost prometa. Medmrežje: <http://nesrece.avp-rs.si/> (12. 2. 2024).

ANALIZA ČASOVNIH VRST SENTINEL-2 IN PLANETSCOPE ZA DETEKCIJO KOŠENJ NA PRESIHAJOČEM CERKNIŠKEM JEZERU (2017–2023)

Ana Potočnik Buhvald, dr. Krištof Oštir

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

ana.potocnik-buhvald@fgg.uni-lj.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6662-1999>

kristof.ostir@fgg.uni-lj.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4887-7798>

Rudi Kraševc, Tomaž Jančar

Notranjski regijski park

rudi.krasevec@notranjski-park.si, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5688-4178>

tomaz.jancar@notranjski-park.si, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4594-8830>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610508885_13

UDK: 528.83:631.552(285.2Cerkniško jezero) "2017/2023"

IZVLEČEK

Analiza časovnih vrst Sentinel-2 in PlanetScope za detekcijo košenj na presihajočem Cerkniškem jezeru (2017–2023)

Prispevek prikazuje metodo za detekcijo košenj na presihajočem Cerkniškem jezeru v obdobju 2017–2023 s časovnimi vrstami optičnih satelitskih posnetkov Sentinel-2 in PlanetScope. Metoda temelji na piksel-ski analizi sprememb (angleško change detection) normaliziranega diferencialnega vegetacijskega indeksa (NDVI) v kombinaciji z normaliziranim diferencialnim vodnim indeksom (NDWI). V prispevku smo za vsako posamezno leto izdelali sloj pokošenosti presihajočega jezera, za leto 2021 pa rezultate ovrednotili s terenskimi podatki Notranjskega regijskega parka (NRP). Ujemanje rezultatov (80–90 %) kaže na zanesljivost metode, ki se lahko v bodoče uporabi za potrebe določevanja smernic nadaljnega upravljanja NRP oziroma za zaznavanje košenj v podobnih okoljih, kjer je občasno prisotna voda, na primer na Ljubljanskem barju.

KLJUČNE BESEDE

časovne vrste satelitskih posnetkov, Sentinel-2, PlanetScope, Cerkniško jezero, detekcija sprememb, košnja

ABSTRACT

Time series analysis of Sentinel-2 and PlanetScope for detection of mowing on the intermittent Lake Cerknica (2017–2023)

The paper presents a method for detecting mowing in the intermittent Lake Cerknica in the period 2017–2023 using optical satellite imagery time series from Sentinel-2 and PlanetScope. The method is based on a pixel-based change detection analysis of the Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) in combination with the Normalised Difference Water Index (NDWI). In this paper, we computed data on mowing of the intermittent lake for each analysed year and validated the results with field inventories of the Notranjska Regional Park (NRP) for the year 2021. The agreement of the results (80–90%) indicates the reliability of the method, which can be used in the future to establish guidelines for further management of the NRP or to detect mowing in similar environments where water is present part of the time, such as the Ljubljana Marsh.

KEY WORDS

satellite image time series, Sentinel-2, PlanetScope, Lake Cerknica, change detection, mowing

1 Uvod

Košnja, s katero zaviramo ekološko sukcesijo, ki je usmerjena proti gozdu, je eden izmed načinov upravljanja s travišči. Ker so travišča pomembna območja za ohranjanje biotske pestrosti, a hkrati tudi kmetijska zemljišča, je smotrno upravljanje bistveno za vzdrževanje ravnovesja med različnimi ekosistemskimi storitvami travišč. Vroey s sodelavci (2022) poudarjajo, da sta pri upravljanju travišč ključna dejavnika čas in pogostost košnje. Zgodnja košnja lahko, kot opozarjajo Humbert s sodelavci (2012), negativno vpliva na biotsko raznovrstnost na način, da prekine razmnoževalni cikel živali in rastlin. Holtgrave s sodelavci (2023) dodatno razkrivajo, da visoka frekvenca košenj omejuje obnovitev različnih rastlinskih vrst na traviščih, saj favorizira le posamezne vrste, ki uspejo v takšnih razmerah, kar vodi v zmanjšanje biotske raznovrstnosti. Za zagotavljanje razmerja med ekosistemskimi storitvami Evropska unija (EU) preko Skupne kmetijske politike (SKP) in Direktive o habitatih EU (Direktiva Sveta 92/43/EGS) stremi k izboljšanju biotske raznovrstnosti v kmetijskih pokrajinah, še posebej na območjih Natura 2000, kamor spada tudi presihajoče Cerknisko jezero. Na večjem delu območja presihajočega jezera poteka košnja, navadno med majem in oktobrom, ko voda dovolj usahne. Sprva kosijo obrobne travnike, ki niso nikoli poplavljeni, sledijo višje ležeči predeli jezerske kotline in na koncu še dolgo poplavljen najnižji del jezera (Kunaver 1967, 102). Obseg pokošenih travnikov se iz leta v leto spreminja in je odvisen predvsem od vremenskih dejavnikov. Večji del jezera običajno kosijo le enkrat letno, kar je za običajne kmetijske razmere ekstenzivna raba. Na približno polovici površine je košnja pozna, po 1. 8., kar je posledica vključitve v ukrepe za varstvo narave SKP, na preostalem delu pa košnja poteka prej, odvisno od razmer (Kraševc 2024).

Obseg kmetijstva na jezeru se je proti koncu 20. stoletja zaradi različnih dejavnikov zmanjševal (Smrekar 2003), kar je privedlo do zarasti nekaterih območij s trstičjem in ponekod z grmovno vegetacijo. Leta 2002 je bila pokošena le še četrtnina površine presihajočega jezera (Kus 2002). Na travniške vrste negativno vpliva predvsem zaraščanje z lesno vegetacijo (Bordjan in Bordjan 2014). Po letu 2006 je opaziti ponovno povečano zanimanje za košnjo, saj se vedno več površin vključuje v ukrepe SKP, ki so dosegli vrhunec leta 2020, ko je bil delež vključenih površin v SKP okoli 80 % (Kraševc 2024).

Kljub pozitivnim učinkom zaviranja sukcesijskih stopenj na travnikih se nakazuje možnost, da vsakoletna ekstenzivna košnja negativno vpliva na nekatere vrste ptic, rastlin, metuljev in drugo (Kmecl s sodelavci 2022; Ojdanič s sodelavci 2023; Jančar s sodelavci 2024; Kraševc in Stergaršek 2025). Za učinkovito naravovarstveno upravljanje z zemljišči na presihajočem Cerkniskem jezeru je zato ključno pridobiti informacije o obsegu in času košnje v preteklih letih ter njenemu vplivu na ekosistem. Podatke o košnji lahko pridobivamo bodisi s terenskimi (ročnimi) popisi (Jančar 2018) ali s tehnologijo in tehnikami daljinskega zaznavanja (Oštir 2006).

Za spremljanje stanja travnikov, vključno z detekcijo košenj, na podlagi podatkov daljinskega zaznavanja je na svetovni ravni razvitih že več pristopov (Reinermann, Asam in Kuenzer 2020). Pri detekciji košenj se večina študij osredotoča na uporabo optičnih (Halabuk s sodelavci 2015) ali kombiniranih radarsko-optičnih časovnih vrst prosto dostopnih satelitskih posnetkov (na primer Sentinel) visoke prostorske ločljivosti iz katerih pridobijo informacijo o času in pogostosti košnje (Kolecka s sodelavci 2018; Griffiths s sodelavci 2020; Reinermann, Asam in Kuenzer 2020; Andreatta s sodelavci 2022; Vroey s sodelavci 2022; Holtgrave s sodelavci 2023). Zaznavanje košnje omogočajo opazne spremembe v biomasi in višini vegetacije, ki vplivajo na spektralno odbojnost in teksturo površja (Reinermann s sodelavci 2022, Holtgrave s sodelavci 2023). Pri tem največkrat uporabljajo vegetacijske indekse, kot sta normalizirani diferencialni vegetacijski indeks (NDVI; angleško *Normalised Difference Vegetation Index*) (Rouse s sodelavci 1973) in izboljšani vegetacijski indeks (EVI) (Huete s sodelavci 2002).

Ključni izziv je zagotavljanje gostih in enakomerno porazdeljenih časovnih vrst brez oblakov, saj lahko velike časovne vrzeli ali ne zaznani oblaki otežijo zaznavanje košnje ali celo privedejo do spregledanih dogodkov. Da bi se izognili tej težavi, so v nekaterih študijah v analize vključili tudi radarske posnetke, na primer Sentinel-1, ki so manj občutljivi na oblačnost, vendar je njihova interpretacija bolj

kompleksna (Reinermann s sodelavci 2022; Vroey s sodelavci 2022; Holtgrave s sodelavci 2023). V primerjavi s terenskim popisom metode daljinskega zaznavanja s satelitskimi posnetki omogočajo hitro, objektivno in obsežno analizo velikih travniških površin. V večini primerov dosežejo splošno natančnost zaznavanja košenj nad 80 % (Reinermann s sodelavci 2022; Holtgrave s sodelavci 2023), v nekaterih primerih celo presežejo 90 % (Andreatta s sodelavci 2022). Glavna pomanjkljivost omenjenih izdelkov za neposredno detekcijo košenj na Cerknškem jezeru je, da niso razviti za presihajoča jezera, kjer imamo poleg košenj, v istem času še presihanje vode, katere vzorec je nepredvidljiv in odvisen od sezonskih vremenskih razmer (Miklič in Trobec 2023). Poleg tega prostorska ločljivost Sentinel-2 ne zadovoljuje potreb spremljanja košenj na parcelah, ki so ožje od 10 m, ki so na območju Cerknice pogoste (PlanetScope 2021) zato moramo podatke dopolniti s satelitskimi posnetki večje prostorske ločljivosti, na primer s posnetki PlanetScope.

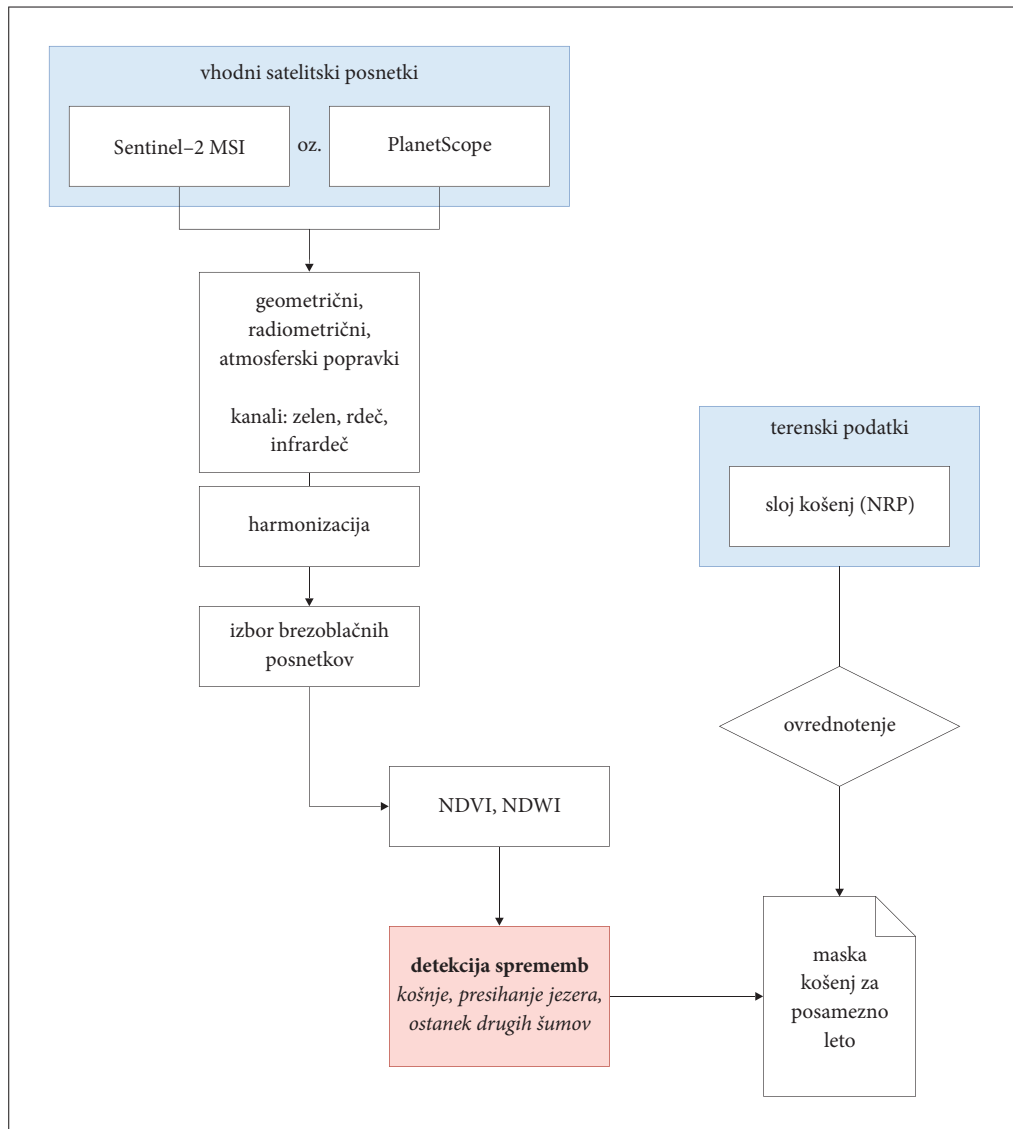
Namen naloge je raziskati uporabnost časovne vrste Sentinel-2 in PlanetScope za natančno zaznavanje pokoenosti presihajočega Cerknškega jezera na letni ravni med leti 2017 in 2023. V tej smeri smo si zadali naslednje cilje:

1. razvoj metode za detekcijo košenj na presihajočem jezeru, ki temelji na kombinaciji uporabe večspektralnih časovnih vrst satelitskih posnetkov Sentinel-2 in PlanetScope;
2. preverjanje natančnosti zaznavanja košenj s 5-dnevnimi posnetki Sentinel-2 v primerjavi z dnevnimi posnetki PlanetScope;
3. ugotavljanje razlik v natančnosti med terenskim (ročnim) zajemom košenj v primerjavi z razvito metodo, ki temelji na podatkih daljinskega zaznavanja.

2 Metode dela in podatki

Pri razvoju in testiranju metode smo se osredotočili na območje presihajočega Cerknškega jezera (površina 22 km²), katerega obseg je določen kot območje rednih poplav (Ravbar s sodelavci 2021). Presihajoče jezero je del kraškega polja, ki leži na Notranjskem med Javorniškim hribovjem na jugu in Slivnico na severu in ga napaja več površinskih in podzemnih voda iz okoliških hribovij. Običajno je jezerska kotanja poplavljen v času padavinskih viškov spomladi in jeseni ter traja skozi zimo, v času poletne suše pa se včasih jezero v celoti izsuši (Blatnik s sodelavci 2024). Obseg in trajanje ojezeritve sta odvisna od količine in pogostosti padavin. V zadnjih desetletjih se zmanjšujeta letna količina padavin in delež padavin v obliki snega pozimi, kar vodi v upadanje obsega ojezeritve predvsem v spomladanskem času (Trobec in Miklič 2023; Blatnik s sodelavci 2024). Na presihajočem jezeru je veliko različnih mokriščnih habitatov, vendar sta pogostost pojavljanja in vrstna sestava močno pogojeni s sezonsko višino vodostaja. Med habitatnimi tipi osrednjega dela, kjer je ojezeritev najdaljša, prevladujejo zveze navadnega trsta (*Phragmites*) in visokih šašev (*Magnocaricion*), ki proti obrobni predelom preidejo v mokrotne travnike z modro stožko (*Molinion*) ali rušnato masnico (*Dsechampsion*) ter na koncu v asociacije bazičnih nizkih barij s sitovci (*Schoenetum*) in visoko pahovkovje (*Arrhenatherion*) (Gaberščik s sodelavci 2018; Stergaršek s sodelavci 2023).

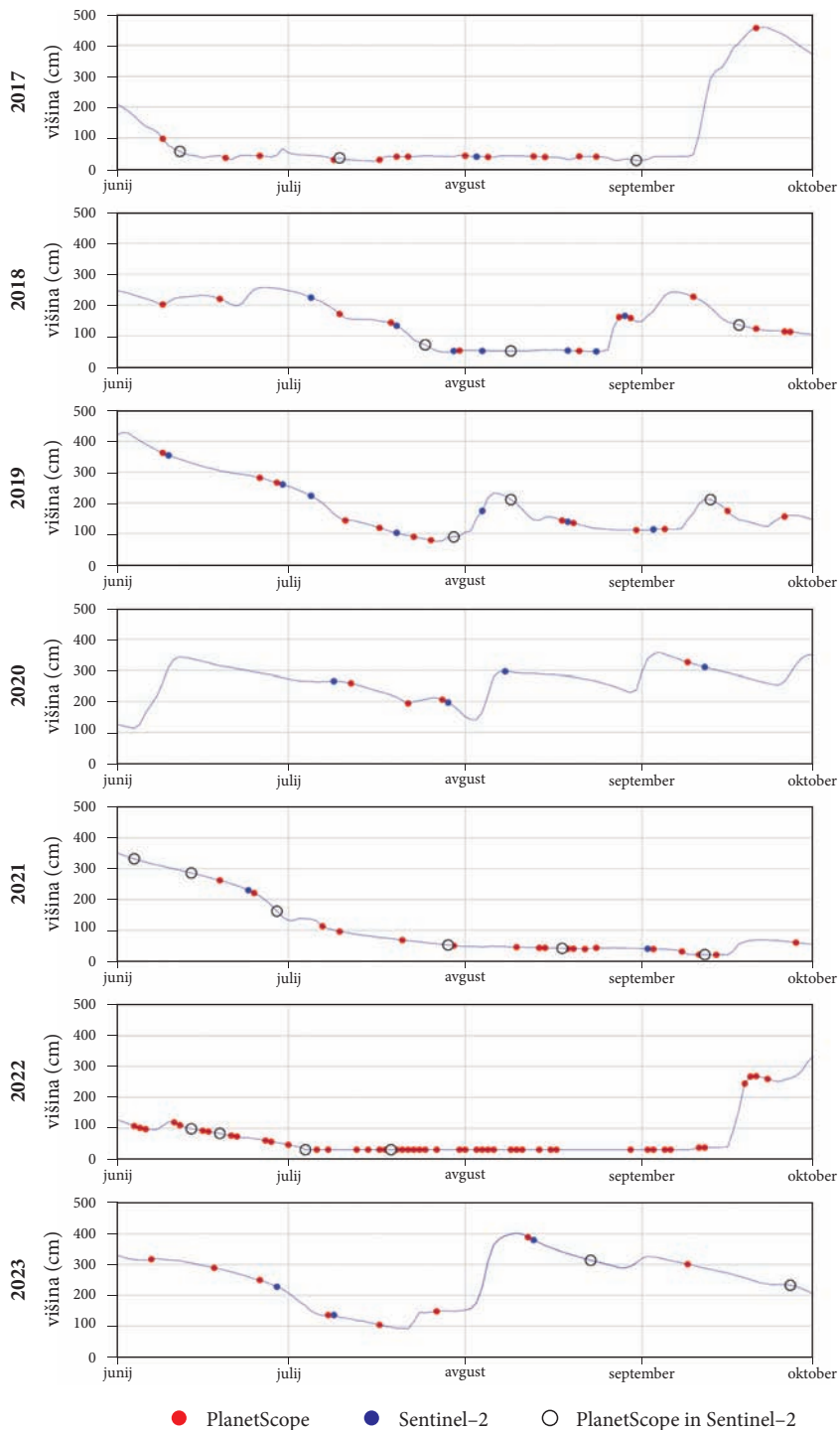
V študiji smo uporabili prosto dostopne satelitske posnetke Sentinel-2 in PlanetScope. Sentinel-2, ki je del evropskega programa Copernicus, vsakih 5 dni zagotavlja multispektralne posnetke s prostorsko ločljivostjo 10 m, 20 m ali 60 m, odvisno od spektralnega kanala. Podjetje Planet Labs, s konstelacijo več kot 180 malih satelitov Dove, zagotavlja dnevne satelitske posnetke PlanetScope s prostorsko ločljivostjo med 3 do 5 m, kar omogoča še bolj podrobno spremljanje hitrih sprememb na Zemljinem površju. Starejše generacije satelitov Dove zajemajo podatke v štirih spektralnih kanalih (rdečem – R, zelenem – G, modrem – B in bližnjem infrardečem – NIR), novejša generacija SuperDove pa zagotavlja dodatne spektralne kanale (obalni moder – Coastal Blue, zelen I – Green I, rumen – Yellow in kanal rdečega roba – RedEdge) (PlanetScope 2021; PlanetScope 2024). Za zaznavanje košenj med majem in novembrom v letih od 2017 do 2023, smo uporabili vse posnetke Sentinel-2 (s stopnjo obdelave 2A; angleško



Slika 1: Shematski prikaz postopka za detekcijo košnje na Cerkniškem jezeru. Postopek je potekal ločeno za posnetke Sentinel-2 in posnetke PlanetScope.

Slika 2: Višina vodostaja na merilni postaji Dolenje jezero (Arhiv... 2024) in datumi uporabljenih brezoblačnih satelitskih posnetkov Sentinel-2 in PlanetScope med leti 2017 in 2023. ► (str. 159)

Analiza časovnih vrst Sentinel-2 in PlanetScope za detekcijo košenj na presihajočem Cerkniskem ...



Level-2A) in z oblačnostjo nižjo od 20 %. Vsi posnetki s prostorsko ločljivostjo 10 m, torej rdeč (R), zelen (G), moder (B) in bližnji infrardeč (NIR) spektralni kanal, so bili radiometrično in atmosfersko popravljeni s procesno verigo STORM (Pehani et al. 2016), katere del so tudi samodejni atmosferski popravki, narejeni s programom ATCOR 2 (Richter and Schlapfer 2016). Posnetke za analizo je zagotovil ZRC SAZU, Inštitut za antropološke in prostorske študije (Pehani s sodelavci 2022). Posnetke PlanetScope, z oblačnostjo nižjo od 20 %, smo prenesli direktno v programu ArcGIS Pro 3.1 z vtičnikom Planet Imagery. Vtičnik omogoča prenos na območje obrezanih geometrično, atmosfersko, radiometrično popravljenih ter normaliziranih in harmoniziranih posnetkov PlanetScope. Normalizacija in harmonizacija pomenita, da so posnetki zajeti z različnimi generacijami satelitov Dove med seboj časovno in prostorsko skladni in združljivi, harmonizacija pa dodatno pomeni tudi usklajenost in ujemanje s ciljnimi spektralnim odzivom senzorja Sentinel-2 (Kington and Collison 2022). Število uporabnih satelitskih posnetkov se med leti spreminja (slika 2).

Ker smo se pri detekciji košenj osredotočili na uporabo spektralnih indeksov NDVI in normaliziranega diferencialnega vodnega indeksa NDWI (angleško *Normalised Difference Water Index*), ki temeljita na zelenem, rdečem in bližnjem infrardečem spektralnem kanalu, smo lahko ločeno uporabili normalizirane in harmonizirane časovne vrste PlanetScope in Sentinel-2 (preglednica 1).

NDVI je kazalnik aktivnosti rastja na zemeljski površini in je relativno in posredno merilo količine fotosintetske biomase (Rouse s sodelavci 1973). Izračuna se kot razmerje med razliko bližnje infrardeče svetlobe (NIR) in rdeče svetlobe (R) ter njuno vsoto.

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Košnja odstrani del vegetacije, kar zmanjša NDVI, saj se zmanjša odbojnost v bližnjem infrardečem pasu, ki jo močno odbija zdrava, zelena vegetacija, v primerjavi z rdečo svetlobo, ki jo zelena vegetacija absorbira. Sprememba NDVI pred in po košnji služi kot indikator, da je bilo zemljišče pokošeno. S prostorsko in časovno analizo NDVI lahko ocenimo, kako pogosto in v kakšnem obsegu so bile košnje izvedene na izbranem študijskem območju. Dodatno lahko spremljanje NDVI po košnji pomaga pri ocenjevanju hitrosti regeneracije vegetacije. Postopno povečevanje vrednosti NDVI po košnji kaže na rast in okrevanje vegetacije.

NDWI ali normalizirani diferencialni vodni indeks se uporablja za zaznavanje in spremljanje vsebnosti vode v vegetaciji in/ali za identifikacijo vodnih teles, kot so jezera, reke in mokrišča (Gao 1996). Izračuna se kot razmerje med razliko zelene (G) in bližnje infrardeče svetlobe ter njuno vsoto.

$$NDWI = \frac{G - NIR}{G + NIR}$$

Voda močno absorbira bližnje infrardečo in odbija zeleno svetlobo, zato z NDWI jasno ločimo mejo območij vegetacije in vode. S pomočjo NDWI v primeru detekcije košnje izločimo območja vode v času, ko na obrobju jezera že kosijo in tako dobimo končen sloj, kjer so zaznane le košnje.

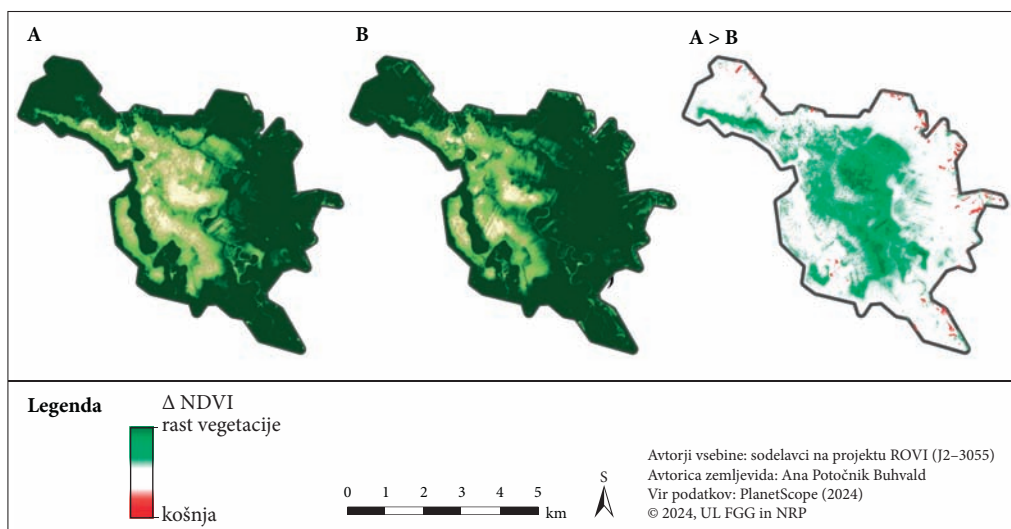
Preglednica 1: Srednje valovne dolžine osnovnih spektralnih kanalov Sentinel-2 in PlanetScope.

spektralni kanal	srednja valovna dolžina (nm)	
	Sentinel-2 (10 m)	PlanetScope (Doves) (3 m)
zeleni	560	531
rdeči	665	665
bližnji infrardeči	842	865

Detekcijo košenj smo izvedli v programskem okolju ArcGIS Pro 3.1 s čarovnikom za detekcijo sprememb (angleško *Change Detection Wizard*), ki med drugim omogoča tudi zaznavanje časovnih sprememb na ravni posameznega piksela med dvema zveznima rastrama. Kot vhodne podatke smo uporabili brezoblačne satelitske posnetke v časovnih vrstah Sentinel-2 in PlanetScope. Spremembe, ki nakazujejo košnje, se izračunajo na podlagi vrednosti NDVI pred in po dogodku. Pozitivne vrednosti NDVI so lahko znak za rast vegetacije, negativne vrednosti NDVI pa znak za izgubo vegetacije oziroma košnjo. Na podlagi študije smo empirično določili, da je prag detekcije košnje vrednost razlike NDVI manjša ali enaka vrednosti -0,1 (slika 3).

Če se višina vodostaja med časovno zaporednima posnetkoma poveča (na primer avgusta 2020, kot je prikazano na sliki 2), to kaže na povečanje obsega vode. V takih primerih algoritem prav tako zazna upad vrednosti NDVI, kar v osnovi pomeni košnjo, čeprav se ta tam ni zgodila. Območja, kjer je potencialno možna košnja so tista, ki imajo vrednosti NDWI med -1 in -0,6, če pa je vrednost višja, pomeni, da je tam prisotna voda. Izkazalo se je, da je maskiranje vode nujno tako na začetku sezone košenj (konec maja, začetek junija), kot tudi med njo, če je poletje deževno (na primer leta 2020 in 2023). Končen sloj košenj v posameznem letu dobimo s prekrivanjem rastrskih slojev košenj v skupen raster, ki zajema vse košnje v posamezni sezoni med 2017 in 2023. Vektoriziramo vsa območja, kje je bila v posameznem letu zaznana vsaj ena košnja in dodatno izločimo območja, ki so manjša od enega piksela Sentinel-2 (100 m²). Postopek smo ločeno izvedli za posnetke Sentinel-2 in PlanetScope.

V letu 2021 je potekal tudi terenski zajem podatkov o obsegu košnje in drugih parametrov dejanske rabe zemljišč na območju Cerkniškega jezera. Podatki terenskega popisa so bili uporabljeni kot referenčni podatki za validacijo samodejne zaznave košenj. Popis je potekal po podobni kartirni metodi kot na Ljubljanskem barju (Jančar 2018). Prepoznanih je bilo 27 tipov rabe, ki so bili združeni v 11 skupin, med katerimi je bila ena »pokošeno«. Digitalizacija fizičnih popisnih listov v vektorski sloj je potekala na podlagi ažurnih satelitskih posnetkov SkySat z ločljivostjo 0,5 m. Podrobnejši opis metodologije terenskega popisa je podan v Kraševc in Jančar (2023).



Slika 3: Detekcija sprememb dveh časovno zaporednih satelitskih posnetkov PlanetScope z vegetacijskim indeksom NDVI na Cerkniškem jezeru. Posnetek A je bil zajet dne 7. 6. 2023, posnetek B pa 18. 6. 2023. Zelena območja kažejo naraščanje vrednosti NDVI, rdeča območja pa upad vrednosti NDVI oziroma košnjo.

Rezultate smo preverili s presekom izračunanih površin košenj, zaznanih na podlagi satelitskih posnetkov Sentinel-2 in ločeno na posnetkih PlanetScope, ter košenj, označenih na terenu. Ujemanje smo označili z M. Glede na referenčni sloj (terenski popis) smo ocenili tudi napačno zaznane pokošene površine. Napaka lahko kaže na to, da smo s satelitskimi posnetki košnjo zaznali, na terenu je ni bilo, ali obratno, da je bilo območje pokošeno, s satelitskimi posnetki pa tega nismo zaznali. V prvem primeru, ko s satelitskim posnetki zaznamo košnjo, ki je dejansko v naravi ni, govorimo o precenjeni vrednosti (O; angleško *overestimate*), v drugem, ko je ne zaznamo, govorimo o podcenjeni vrednosti (U; angleško *underestimate*). Vse vrednosti so izražene kot delež vseh površin, ki so bile zaznane s terenskim popisom (T).

3 Rezultati

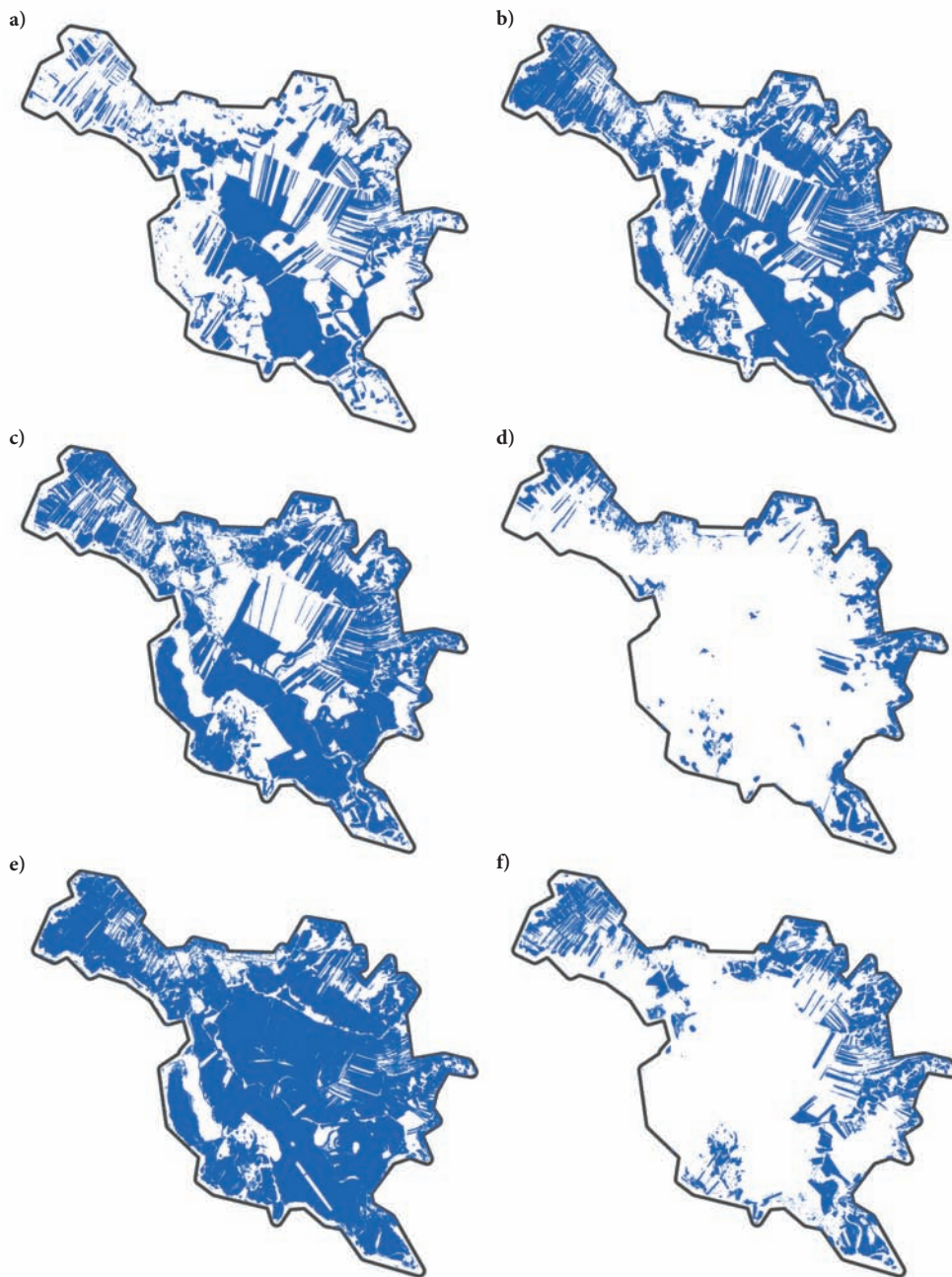
Zaradi spremenljivih vremenskih razmer in različne višine vodostaja v poletnih mesecih se letnih obseg košenj spreminja. Ugotovili smo, da so med leti 2017 in 2023 velika odstopanja v višini vodostaja na merilnem mestu Dolenje Jezero (povprečje 165,03 cm; standardni odklon 78,45). S posnetki Sentinel-2 smo praviloma v vseh analiziranih letih, razen 2018, zaznali večji obseg košenj kot s posnetki PlanetScope. Največji delež pokošenosti jezera je bil glede na podatke PlanetScope zaznan leta 2022 (preglednica 2), ko je bila višina vodostaja nizka in najnižji leta 2020, ko je bila višina vodostaja visoka.

Pearsonov koeficient korelacije med deležem pokošenosti jezera zaznanim s PlanetScope in povprečno višino vodostaja je $-0,83$ ($p=0,020$, $n=7$) in kaže močno negativno linearno povezavo. Podobno je s Sentinel-2, kjer je koeficient korelacije $-0,80$ ($p=0,108$, $n=5$). Trend je podoben, in sicer, višja kot je povprečna gladina vodostaja v poletnih mesecih, manj je pokošene površine na jezeru. Slika 4



Preglednica 2: Višina vodostaja od 1. junija do 30. septembra (Arhiv ... 2024) ter delež pokošenosti jezera, ki ga dobimo iz s satelitskimi posnetki Sentinel-2 in PlanetScope. V letih 2022 in 2023 v časovni vrsti Sentinel-2 ni bilo zadostnega števila brezoblačnih posnetkov, zato je analiza izdelana samo na podatkih PlanetScope.

leto	povprečna višina vodostaja Dolenje Jezero od 1. junija do 30. septembra [cm]	delež pokošenosti jezera [%]		število uporabljenih posnetkov	
		PlanetScope	Sentinel-2	PlanetScope	Sentinel-2
2017	103.42	41.2	60.4	17	4
2018	148.92	60.8	49.4	30	10
2019	191.76	59.0	67.2	19	11
2020	264.64	11.5	18.6	6	4
2021	110.28	65.3	79.8	26	8
2022	70.08	81.3	manjkajoči reprezentativni posnetki	62	4
2023	266.14	23.8	manjkajoči reprezentativni posnetki	12	5

Slika 4: Območja košenj zaznana s časovno vrsto satelitskih posnetkov PlanetScope za leto 2017 (a), 2018 (b), 2019 (c), 2020 (d), 2022 (e) in 2023 (f). ► (str. 163)



Legenda

-  košnja, zaznana le s satelitskimi podatki PlanetScope
-  obravnavano območje



Avtorji vsebine: sodelavci na projektu ROVI (J2-3055)
Avtorja zemljevida: Ana Potočnik Buhvald, Rudi Kraševc
Vir podatkov: Notranjski regijski park (NRP, 2021), ZRC
SAZU za arhiv Sentinel-2 (2023), PlanetScope (2024)
© 2024, UL FGG in NRP

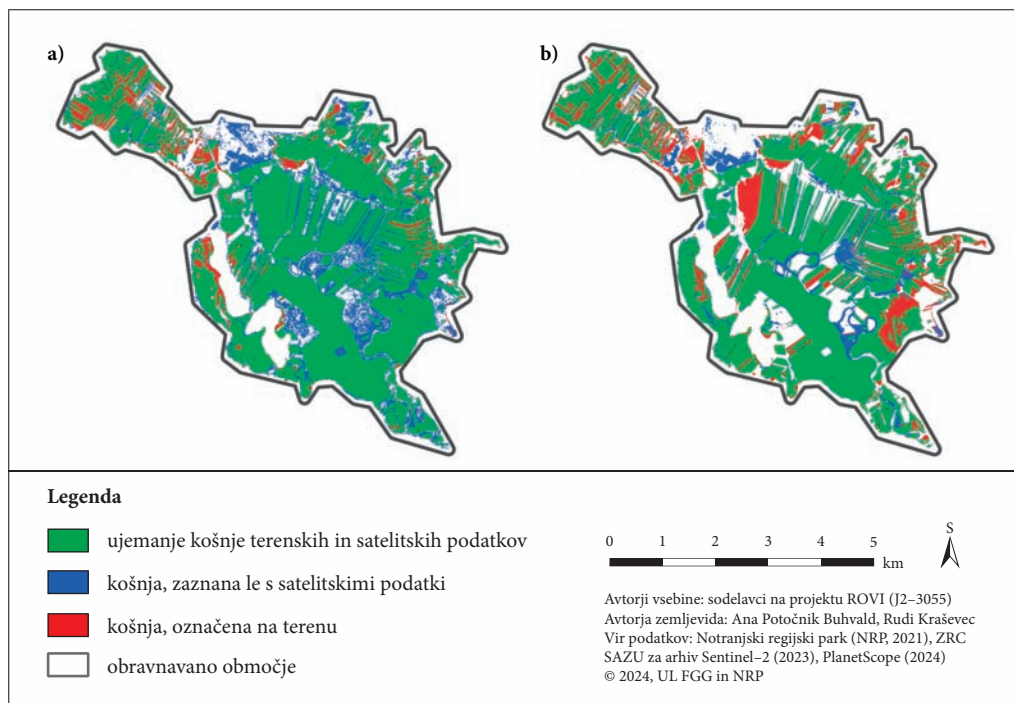
s končnimi sloji košenj zaznanimi s posnetki PlanetScope jasno odraža stanje na presihajočem jezeru med 2017 in 2023. Leto 2021 je bilo posebej preverjeno s terenskimi podatki (preglednica 3, slika 5).

S terenskimi podatki smo v letu 2021 košnjo zaznali na 72,8% površine študijskega območja. V istem letu smo pokošeno zaznali na 79,8% površine na podlagi Sentinel-2 oziroma na 65,3% na podlagi PlanetScope. S Sentinel-2 je torej območje košnje precenjeno za 7% in s PlanetScope za 7,5% podcenjeno (preglednica 3).

Iz validacije je razvidno, da je ujemanje zaznane košnje večje s podatki PlanetScope, kjer je pravilno definiranih 87,95% pokošanih površin (slika 5, zelena barva). Pri tem je zaznava košnje na podatkih PlanetScope bolj restriktivna, saj ima manjši delež precenjenih površin z napačno zaznano košnjo (slika 5, modra barva). Po drugi strani, je delež površin na katerih je bil podcenjen obseg košnje skoraj dvakrat večji v primeru uporabe posnetkov PlanetScope, kot pri Sentinel-2 (slika 5, rdeča barva).

Preglednica 3: Validacija rezultatov košnje zaznane s satelitskimi posnetki s terenskimi podatki za leto 2021.

	Sentinel-2	PlanetScope
terenski podatki (T)	1768 ha	1768 ha
obseg zaznane košnje (M+O)	1939,1 ha (100 %)	1585,7 ha (100 %)
ujemanje (M)	1574,5 ha (81,2 %)	1394,6 ha (87,95 %)
precenjenost (O)	364,6 ha (18,8 %)	191 ha (12,05 %)
podcenjenost (U/T)	192,3 ha (10,87 %)	375,6 ha (21,25 %)



Slika 5: Validacija rezultatov pridobljenih s satelitskimi posnetki Sentinel-2 (a) in PlanetScope (b) v primerjavi s terenskim zajemom za leto 2021.

4 Razprava

Podatki Sentinel-2 in PlanetScope zagotavljajo goste časovne vrste, z vrzelmi večinoma krajšimi od 10 dni, kar se je izkazalo za zadostno zanesljivost detekcije košnje v posameznem analiziranem letu. Po košnji (tudi po odtoku vode) se trava hitro obnovi, zato lahko dogodke, ki so morda bili spregledani z upadom NDVI, dopolnimo z detekcijo rasti vegetacije. To je še posebej pomembno v začetku rastne sezone (junija), ko običajno ni dovolj brezoblačnih posnetkov.

Rezultati košenj, ki jih dobimo s časovnimi vrstami Sentinel-2 in PlanetScope so medsebojno primerljivi in se s terenskimi podatki ujemajo 80–90%. Brezplačni satelitski posnetki Sentinel-2 so v časovnem smislu (za zaznavo košenj) dovolj točni, razen, ko nimamo na razpolago zadostnega števila brezoblačnih posnetkov (na primer za leti 2022 in 2023). So pa v prostorskem smislu manj uporabni na razdrobljenih, dolgih in ozkih zemljiških parcelah, kot so na območju Cerknice. Tu so se izkazali bolj točni dnevni posnetki PlanetScope.

Kljub točnim in smiselnim rezultatom, ki jih dobimo z razvito metodologijo, so še vedno opazne omejitve, kar pomeni, da z daljinskim zaznavanjem ne moremo v popolnosti nadomestiti terenskega dela, lahko pa z rezultati olajšamo in pohitrimo zajem podatkov ter s tem zmanjšamo stroške, vsaj na območjih, kjer je detekcija košenj zanesljiva. Metoda ni zanesljiva na območjih, kjer je dalj časa prisotna voda – ko ta odteče se to zazna kot košnja, gre pa le za detekcijo golih tal, na primer ob strugi Stržena, na Blatih, zadrževalniku Rešeto. Tam časovne vrste Sentinel-2 in PlanetScope precenijo košnje. Košenje so bile napačno zaznane tudi na pašnih zemljiščih v Retju ter na območju Beneteka. S Sentinel-2 so bile košnje zaznane tudi na območju sklenjenih sestojev navadnega trsta (*Phragmites australis*). Tu so posnetki PlanetScope z boljšo točnostjo zaznave dodatno pokazali prednost uporabe za podrobno detekcijo košenj na Cerkniškem jezeru.

5 Sklep

Natančno in hitro zaznavanje obsega košnje je bistveno orodje za celostno spremljanje stanja habitatov na Cerkniškem jezeru. Izkazalo se je, da za natančno spremljanje dogajanja na jezeru z razvito metodologijo potrebujemo časovne vrste satelitskih posnetkov PlanetScope, s prostorsko ločljivostjo 3 do 5 m, saj so tam zemljiške parcele velikokrat ožje od enega piksla Sentinel-2, zato košnjo z njim težje pravilno zaznamo. Tako lahko s točnostjo 88,0% ugotavljamo čas in obseg košnje že znotraj opazovanega leta, kar dodatno pomaga pri razumevanju vpliva človekovega upravljanja na naravo. To orodje omogoča tudi sprotno spremljanje in prilagajanje košenj v Notranjskem regijskem parku. Večletne študije košenj podajajo informacije iz katerih lahko ugotovimo katera območja je smiselno kositi v posameznem letu, da zagotavljamo kar najboljše razmere za visoko biotsko pestrost.

ZAHVALA: Raziskavo je sofinancirala Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije iz državnega proračuna v okviru raziskovalnega programa številka P2-0406 Opazovanje Zemlje in geoinformatika, temeljnega raziskovalnega projekta ROVI – Združevanje in obdelava radarskih in optičnih časovnih vrst satelitskih posnetkov za spremljanje naravnega okolja številka J2-3055 in usposabljanja mlade raziskovalke številka 53599. Terenski podatki Notranjskega regijskega parka so bili pridobljeni tekom projekta LIFE FOR SEEDS – LIFE20 NAT/SI/000253, ki ga sofinancirajo Evropska unija, Ministrstvo za javno upravo in Sigrid Rausing Trust, ter projekta LIFE TRSCA 101114184 – LIFE22-NAT-SI-LIFE TRSCA, ki ga sofinancira Evropska unija. Zahvala tudi Agenciji Republike Slovenije za okolje in Notranjskemu regijskemu parku za posredovane podatke.

6 Viri in literatura

- Arhiv površinskih voda Agencije Republike Slovenije za okolje, 2024. Medmrežje: https://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php?p_vodotok=Str%C5%BEen&p_postaja=5680&p_let=2016&b_arhiv=Prika%C5%BEi (12. 1. 2024).
- Andreatta, D., Gianelle, D., Scotton, M., Vescovo, L., Dalponte, M., 2022: Detection of grassland mowing frequency using time series of vegetation indices from Sentinel-2 imagery. *GIScience & Remote Sensing* 59-1. DOI: <https://doi.org/10.1080/15481603.2022.2036055>
- Blatnik, M., Gabrovšek, F., Ravbar, N., Frantar, P., Gill, L. W. 2024: Assessment of climatic and anthropogenic effects on flood dynamics in the Cerkniško Polje (SW Slovenia) based on a 70-year observation dataset. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 51-101609. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101609>
- Bordjan D., Bordjan A. 2014: Effects of overgrowing at Cerknica Polje (southern Slovenia) on breeding farmland birds. *Acrocephalus* 35, 162-163. DOI: <https://doi.org/10.1515/acro-2014-0009>
- Direktiva Sveta 92/43/EGS z dne 21. maja 1992 o ohranjanju naravnih habitatov ter prosto živečih živalskih in rastlinskih vrst. Medmrežje: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/fc0afece-a4f2-455a-beee-4e71b72230c1/language-sl> (2. 2. 2024).
- Gaberščik, A., Krek, J. L., Zelnik, I. 2018: Habitat diversity along a hydrological gradient in a complex wetland results in high plant species diversity. *Ecological Engineering* 118. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.04.017>
- Gao, B. 1996: NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment* 58-3. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- Griffiths, P., Nendel, C., Pickert, J., Hostert, P., 2020: Towards national-scale characterization of grassland use intensity from integrated Sentinel-2 and Landsat time series. *Remote Sensing of Environment* 238. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.017>
- Halabuk, A., Mojses, M., Halabuk, M., David, S. 2015: Towards detection of cutting in hay meadows by using of NDVI and EVI time series. *Remote Sensing* 7-5. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs70506107>
- Holtgrave, A.-K., Lobert, F., Erasmi, S., Röder, N., Kleinschmit, B. 2023: Grassland mowing event detection using combined optical, SAR, and weather time series. *Remote Sensing of Environment* 295. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113680>
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., Ferreira, L. G. 2002: Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment* 83-1. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)
- Humbert, J.-Y., Pellet, J., Buri, P., Arlettaz, R. 2012: Does delaying the first mowing date benefit biodiversity in meadowland? *Environmental Evidence* 1-1. DOI: <https://doi.org/10.1186/2047-2382-1-9>
- Jančar, T. 2018: Popis pokošenosti na Ljubljanskem barju 2017: popis rabe kmetijskih zemljišč s poudarkom na datumu košnje, v 2.0. Poročilo, Društvo za opazovanje in proučevanje ptic Slovenije. Ljubljana.
- Jančar, T., Stergaršek, J., Kraševac, R. 2023: Popisi kosca *Crex crex* na Cerknškem jezeru v letu 2023 in analiza njegovega habitata. Poročilo, Notranjski regijski park, Cerknica.
- Kington, J., Collison, A. 2022: Scene level normalization of Planet Dove imagery. Medmrežje: https://assets.planet.com/docs/scene_level_normalization_of_planet_dove_imagery.pdf (6. 2. 2024).
- Kmecl, P., Gamsler, M., Ploj, A., Jančar, T. 2022: The challenges of bird conservation on an intermittent karst lake: the interplay between changing water level and agriculture. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 32-9. DOI: <https://doi.org/10.1002/aqc.3854>
- Kus, J. 2002: Izbira habitata travniških ptic pevk na Cerknškem polju. Diplomsko delo, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Kraševac, R., Stergaršek, J. 2025: Izzivi upravljanja z mokriščnimi habitati. Presihajoče jezero: Monografija o Cerknškem jezeru. Ljubljana. [v pripravi]

- Kraševac, R., Jančar, T. 2023: Popis rabe zemljišč na Cerkniškem jezeru v letu 2021, LIFE SEMENA. Poročilo, Notranjski regijski park. Cerknica.
- Kraševac, R. 2024: Analiza vpisa kmetijsko-okoljskih ukrepov na SPA Cerkniško jezero 2006–2023, LIFE TRŠČA WP 2.1.i. Poročilo, Notranjski regijski park. Cerknica.
- Kolečka, N., Ginzler, C., Pazar, R., Price, B., Verburg, P. 2018: Regional scale mapping of grassland mowing frequency with Sentinel-2 time series. *Remote Sensing* 10-8. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs10081221>
- Kunaver, P. 1967: Cerkniško jezero. Kulturni in naravni spomeniki Slovenije: Zbirka vodnikov 9. Ljubljana.
- Miklič, S., Trobec, T. 2023: Sezonske spremembe gladine Cerkniškega jezera v obdobju 1961–2020. *Dela* 59. DOI: <https://doi.org/10.4312/dela.59.91-150>
- Ojdanič, N., Zelnik, I., Holcar, M., Gaberščik, A., Golob, A. 2023: Contrasting dynamics of littoral and riparian reed stands within a wetland complex of Lake Cerknica. *Plants* 12-5. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12051006>
- Oštir, K. 2006: Daljinsko zaznavanje. Ljubljana.
- Pehani, P., Čotar, K., Marsetič, A., Zaletelj, J., Oštir, K. 2016: Automatic geometric processing for very high resolution optical satellite data based on vector roads and orthophotos. *Remote Sensing* 8-4. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs8040343>
- Pehani, P., Veljanovski, T., Kokalj, Ž., Oštir, K. 2022: Six years of Sentinel-2 archive of Slovenia. *Geodetski vestnik* 66-2. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2022.02.220-257>
- PlanetScope, 2021. Medmrežje: <https://www.gov.si/novice/2021-04-28-planetoscope/> (5. 2. 2024).
- PlanetScope, 2024. Medmrežje: <https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/data/planet/planet-scope/> (5. 2. 2024).
- Ravbar, N., Mayaud, C., Blatnik, M., Petrič, M. 2021: Determination of inundation areas within karst poljes and intermittent lakes for the purposes of ephemeral flood mapping. *Hydrogeology Journal* 29-1. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10040-020-02268-x>
- Reinermann, S., Asam, S., Kuenzer, C. 2020: Remote sensing of grassland production and management – A review. *Remote Sensing* 12-12. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12121949>
- Reinermann, S., Gessner, U., Asam, S., Ullmann, T., Schucknecht, A., Kuenzer, C. 2022: Detection of grassland mowing events for Germany by combining Sentinel-1 and Sentinel-2 time series. *Remote Sensing* 14-7. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14071647>
- Richter, R., Schlapfer, D. 2016: Atmospheric / Topographic correction for satellite imagery (ATCOR-2/3 User Guide, Version 9.0.2). Wessling, Wil.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, W. D. 1973: Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium. Washington, DC.
- Smrekar, A. 2003: Družbeno-geografske značilnosti Cerkniškega polja v luči obremenjevanja voda. Jezero, ki izginja: Monografija o Cerkniškem jezeru. Ljubljana.
- Stergaršek, J., Kraševac, R., Otopal J. 2023: Kartiranje habitatnih tipov na Cerkniškem jezeru (2022), v. 3, Projekt LIFE SEMENA. Poročilo, Notranjski regijski park. Cerknica.
- Vroey, M., Vendictis, L., Zavagli, M., Bontemps, S., Heymans, D., Radoux, J., Koetz, B., Defourny, P. 2022: Mowing detection using Sentinel-1 and Sentinel-2 time series for large scale grassland monitoring. *Remote Sensing of Environment* 280. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113145>

SAMODEJNA ZAZNAVA PROMETNIC Z GLOBOKIM UČENJEM NA PODATKIH CIKLIČNEGA LASERSKEGA SKENIRANJA SLOVENIJE

Alen Mangafić, Primož Kete

Geodetski inštitut Slovenije

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

primoz.kete@gis.si

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610508885_14

UDK: 528.8.044.6:625.7(497.4)

IZVLEČEK

Samodejna zaznava prometnic z globokim učenjem na podatkih Cikličnega laserskega skeniranja Slovenije

Razvili smo model za samodejno zaznavanje prometnic na podlagi laserskih oblakov točk. Naš cilj je bil razviti model globokega učenja, ki bi bil sposoben zanesljivo razpoznati linijske objekte na rastrskih podlagah izpeljanih iz laserskih oblakov točk. Za preizkus smo uporabili podatke Cikličnega laserskega skeniranja Slovenije (CLSS) iz leta 2023. Za ta namen smo uporabili mini-U-Net, poenostavljeno različico U-Net arhitekture, ki omogoča hitrejše učenje in inferenco ter zmanjšanje računskih zahtev. Model temelji na konvolucijskih nevronske mrežah, ki so zmožne učinkovito prepoznavati geometrijo in značilnosti objektov, ter jih razvrščati v določene razrede. Razvili smo tudi metodo za samodejno izdelavo učne množice, ki avtomatizira pridobivanje oznak, kar pospeši proces in zmanjša produkcijske stroške. Poleg tehničnih vidikov smo preučili tudi praktično uporabnost modela v realnih scenarijih, vključno s hitrostjo delovanja, enostavnostjo implementacije in morebitnimi omejitvami pri uporabi. Naš cilj je bil razviti zmogljiv model, ki bi bil praktično uporaben v proizvodnih primerih na državni ravni.

KLJUČNE BESEDE

CLSS, lidar, oblak točk, strojno učenje, semantična segmentacija, detekcija

ABSTRACT

Automatic road detection with deep learning on Cyclic Laser Scanning of Slovenia data

We developed a model for automatic detection of road networks based on laser point clouds. Our goal was to develop a deep learning model, capable of reliably recognizing linear objects on raster layers derived from laser point clouds. For this test we used data from the Cyclic laser scanning of Slovenia from 2023. For this purpose, we used mini-U-Net, a simplified version of the U-Net architecture, which enables faster learning and inference and reduces computational requirements. The model is based on convolutional neural networks, capable of effectively recognizing the geometry and features of objects and classifying them into specific classes. We also developed a method for automatic generation of training datasets, automating the acquisition of labels, speeding up the process and reducing production costs. In addition to technical aspects, we also examined the practical usability of the model in real-world scenarios, including speed and ease of operation and potential limitations in use. Our aim was to develop a powerful model, that would be practically applicable in production cases at the national level.

KEY WORDS

CLSS, lidar, point cloud, machine learning, semantic segmentation, detection

1 Uvod

Izdelali smo model za samodejno zaznavanje prometnic na podlagi laserskih oblakov točk. Naš cilj je bil razviti model globokega učenja, ki bi bil sposoben zanesljivo razpoznati prometnice na rastrskih podlagah izpeljanih iz laserskih oblakov točk. Za namene naše naloge smo izbrali mini-U-Net, poenostavljeno različico U-Net arhitekture (Ronneberger, Fischer in Brox 2015). Ta vsebuje manj plasti in manj parametrov od izvorne različice U-Net in se pogosto uporablja v primerih, kjer je pomembna hitrost, imamo omejene računske zmogljivosti ali imamo na voljo manjše zbirke podatkov (Khanal in Estrada 2020). S poenostavljanjem U-Net v mini-U-Net zmanjšujemo določene zmogljivosti in kompleksnosti mreže, vendar še vedno ohranjamo ključne lastnosti pri nalogah segmentacije, ki slonijo na zmogljivosti kodirnika in dekodirnika in njihovimi povezavami. Mini-U-Net temelji na konvolucijskih nevronskih mrežah. Konvolucijske nevronske mreže so zmožne učinkovito prepoznovati geometrijo in značilnosti objektov na slikah ter jih razvrščati v določene razrede. Pri tem izvajajo postopek semantične segmentacije oziroma vsakemu slikovnemu elementu dodelijo pripadajoči razred in omogočijo natančno identifikacijo objektov na sliki (Long, Shelhamer in Darrell 2015; Khanal in Estrada 2020).

Kot velja za konvolucijske mreže tipa FCN (angleško *Fully Convolutional Network*), se lahko U-Net in mini-U-Net učita na vhodnih podatkih različnih ločljivosti (Cresson 2020), to je iz različnih virov oziroma časov zajema. To omogoča uporabo podatkovnih množic, ki imajo trajnostno zasnovo, oziroma lahko obstoječe podatkovne množice nadgrajujemo z novimi podatki za globoko učenje. Prav tako mini-U-net omogoča semantično segmentacijo slik različnih velikosti. Učeni model lahko uporabimo na rastrih originalne velikosti, denimo ortofoto velikosti lista državne topografske karte v merilu 1 : 5000, ne da bi ga delili na podmnožice manjših rastrov. Izbrali smo pristop nadzorovanega učenja, kar pomeni, da smo model učili na podatkih, ki so vsebovali pare slik (rastrov) in vektorskega sloja prometnic. Vsaka slika je bila podprta z referenčno sliko, ki je vsebovala natančne oznake linijskih objektov. Tako je model lahko učinkovito prilagajal svoje parametre, da bi čim bolj ustrezal pričakovanim rezultatom.

Dodatno smo razvili metodo za samodejno izdelavo podatkovne množice za globoko učenje. Ocenili smo model s vidika stabilnosti, uspešnosti in kakovosti rezultatov. Poleg tehničnih vidikov, smo preučili tudi praktično uporabnost modela v realnih scenarijih, vključno s hitrostjo delovanja, enostavnostjo implementacije in morebitnimi omejitvami pri uporabi. Naš cilj je bil razviti model, ki bi bil natančen, kot sta na primer kompleksnejša modela ResNet (He s sodelavci 2015) in U-Net, ter tudi praktično uporaben v produkcijskih primerih na državnem nivoju.

2 Metode dela in podatki

U-Net, iz katerega je izpeljan mini-U-Net, se je prvotno pojavil kot arhitektura za segmentacijo slik, zlasti v biomedicinskih aplikacijah, vendar se lahko uporablja tudi za druge naloge segmentacije (Ronneberger, Fischer in Brox 2015). Mini-U-Net sestavljajo tri komponente: kodirnik, odgovoren za izvleček značilnk preko konvolucijskih plasti in vzorčenja; most, ki ohranja prostorske informacije med kodirnikom in dekodirnikom; dekodirnik, ki zvišuje značilke nazaj na izvorno ločljivost slike. Preskakovalne povezave olajšujejo pretok informacij med ustrežajočimi plastmi kodirnika in dekodirnika, kar izboljšuje natančnost segmentacije. Končna plast dekodirnika uporablja *softmax* aktivacijo (Goodfellow, Bengio in Courville 2016) za ustvarjanje maske segmentacije.

Glavna razlika med modeli zasnovanimi na arhitekturi FCN (kot je mini-U-Net) in tradicionalnimi konvolucijskimi mrežami s polno-povezanimi nivoji je ta, da vmesni rezultat FCN ni le klasifikacija vhodne slike, temveč maska značilnk. To je pomembno za proces semantične segmentacije, saj značilke izhodne maske FCN ohranjajo lokacijske informacije značilnk predhodnih, povezanih nivojev (Smole 2019).

Mini-U-Net izvaja semantično segmentacijo slik sestavljenih iz treh dimenzij, kot so npr. slike sestavljene iz rdečega, zelenega in modrega kanala (RGB). Prednosti tega, da se lahko mini-U-Net uči na učnih množicah sestavljenih iz rastrov različnih ločljivosti, so:

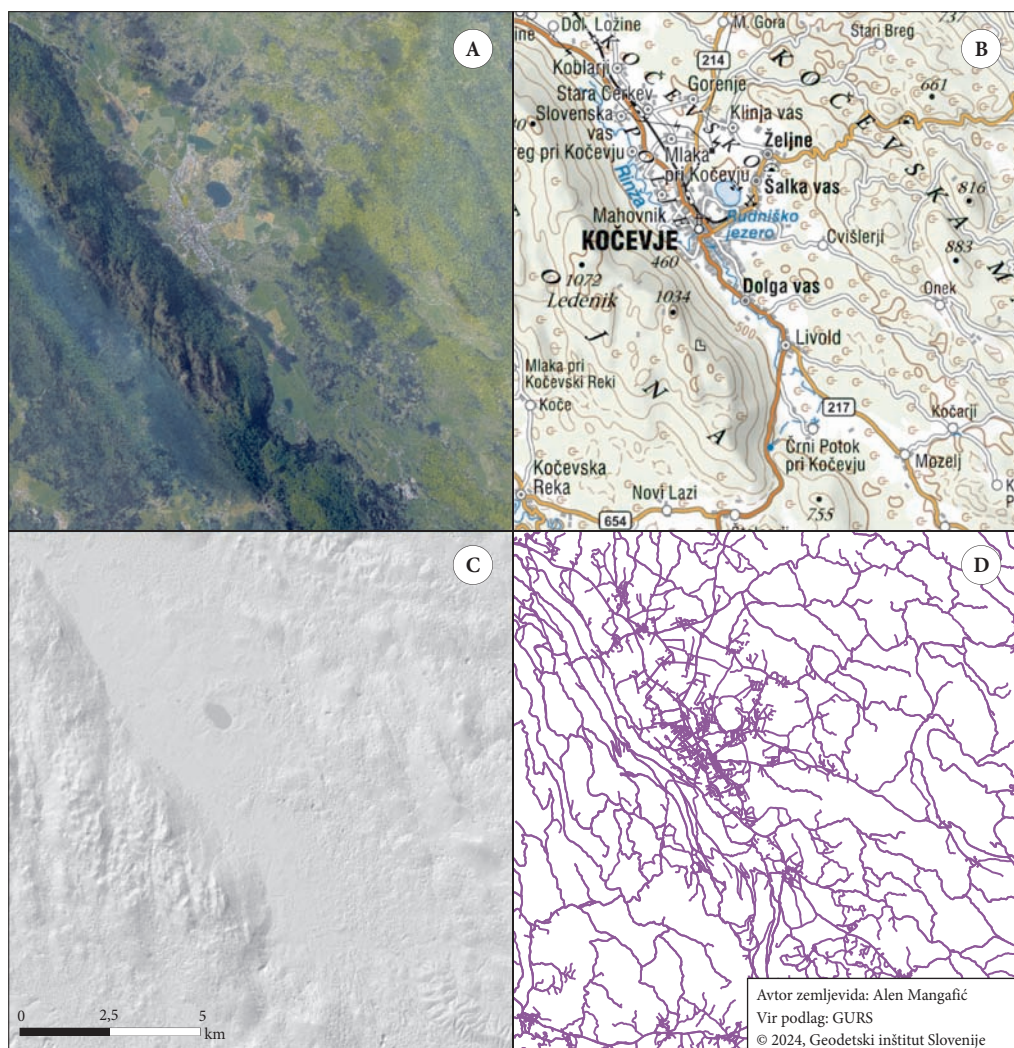
- Model lahko uporabi celotno sliko kot vhod za učenje in napovedovanje. To pomeni, da lahko obravnava slike različnih velikosti, ne da bi bile te potrebne predhodne obdelave ali izrezovanja. To omogoča boljšo uporabo raznolike učne množice, kar lahko poveča splošnost in prilagodljivost modela na različne okoliščine in vrste podatkov.
- Učno množico sestavljeno iz verificiranih parov (vektorski sloj prometnic se prilega slikam) lahko posodabljammo s podatki različnih ločljivosti, brez izločanja starih parov. To omogoča zasnovo dolgoročne, »trajnostne« učne množice.
- Model omogoča kakovostno zaznavo linijskih objektov in zmožnost učenja. Določeni linijski objekti so zelo široki in slike z manjšo ločljivostjo omogočajo integracijo širših objektov v učno množico; ločljivost vhodnih slik je navzgor omejena s strojnimi zmožnostmi računalnika (npr. zmožnost pomnilnika grafične kartice).

Test zaznavanja prometnic smo izvedli na območju v okolici Kočevja (slika 1) na podlagi lidar-skih podatkov Cikličnega laserskega skeniranja Slovenije (CLSS) iz 2023. Uporabili smo georeferencirane oblake točk (GKOT). Na testnem območju se pojavljajo različni tipi reliefa in pokritosti tal. Pri pripravi metodologije smo želeli zagotoviti primerljivo kakovost zaznave med različnimi tipi reliefa in pokritosti tal. Območje smo izbrali zaradi gostega vegetacijskega pokrova, saj so prometnice pod krošnjami največji izziv za samodejno zaznavanje. Povprečna gostota GKOT na študijskem območju znaša 22 točk/m² (med 363 in 1095 m n. v.). Zajem aerolaserskih podatkov je potekal v maju in juniju 2023, ko je bilo drevje že olistano. Študijsko območje je sestavljeno iz 210 listov hierarhične mreže SIHM1000; vsak list pokriva površino 1 km². Učni vektorski sloj prometnic z oznakami razredov smo sestavili s pomočjo geometrij obstoječih slojev prometnic. Uporabili smo prometnice iz Državnega topografskega modela (DTM) in Zbirnega katastra gospodarske javne infrastrukture (ZKGJI).

Informacije, ki jih model uporablja za prepoznavanje lastnosti objektov (v nadaljevanju značilke) smo izbrali na osnovi študije zaznavanja gozdnih cest iz lidarskih oblakov točk na osnovi metode naključnih gozdov, ki jo je izvedla Buján s sodelavci (2021). V svoji raziskavi so razdelili prometnice na več kategorij ter za vsako od njih ocenili pomembnost. V našem primeru smo izbrali najbolj vplivne značilke ter iz njih sestavili trirazsežne matrike za učenje, validacijo in testiranje modela. Dodali smo še optični model in dva reliefna modela po lastni presoji. Naš končni model je sestavljen iz sedmih modelov. V nadaljevanju so podani modeli in uporabljane značilke:

- Optični model; GKOT CLSS vsebuje barvne vrednosti popolnega ortofota (POF) narejenega s slikovnim ujemanjem aerofotografij, ki so zajete sočasno z aerolaserskim skeniranjem:
 - rdeč,
 - zelen in
 - moder kanal;
- reliefni model 1:
 - digitalni model reliefa;
 - povprečna intenziteta odbojev na tleh;
 - število odbojev.
- reliefni model 2:
 - digitalni model reliefa;
 - naklon terena;
 - usmerjenost terena.
- gola tla:
 - normirani digitalni model površja prvih odbojev ($nDMP_{PO}$);
 - povprečna intenziteta prvih odbojev znotraj enega standardnega odklona (I_{PO});

- homogenost $nDMP_{PO}$ (obratni diferencialni moment sivinskih nivojev; Haralick, Shanmugam in Dinstein 1973).
- nizka vegetacija:
 - $nDMP_{PO}$;
 - I_{PO} ;
 - varianca sivinskih nivojev I_{PO} (Haralick, Shanmugam in Dinstein 1973).
- asfaltirane ceste:
 - povprečna intenziteta prvih odbojev nižjih od 4 m znotraj enega standardnega odklona (I_{MV});
 - I_{PO} ;
 - povprečna intenziteta zadnjih odbojev znotraj enega standardnega odklona (I_{ZO}).



Slika 1: Študijsko območje: ortofoto (A), Državna pregledna karta 1: 250.000 (B), analitično senčen GKOT CLSS (C), vektorski sloj prometnic (D).

- makadamske ceste:
 - standardni odklon nadmorske višine;
 - I_{ZO} ;
 - normirani digitalni model površja najvišjih vrednosti odbojev na nizki vegetaciji nižji od 4 m.

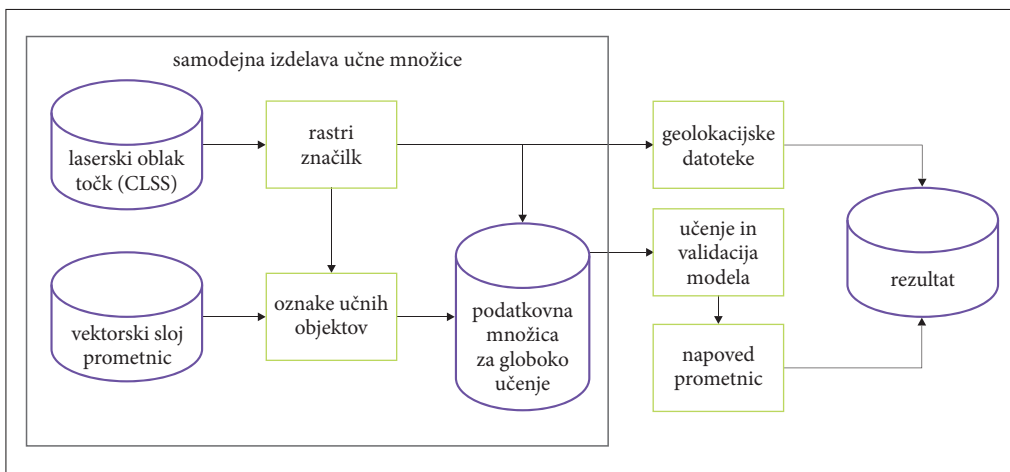
Avtomatizirali smo izdelavo podatkovne množice za globoko učenje, saj je ročni zajem oznak pravi-
 loma dolgotrajen in finančno zahteven proces. Pri ročnem zajemu je največja težava označevanje točk
 aerolaserskih podatkov, ki se nahajajo pod krošnjami. To zahteva podrobno fotointerpretacijo različnih sen-
 čenih višinskih modelov, kot tudi terenske ogleda. Za pripravo podatkovne množice za globoko učenje smo
 linijsko geometrijo kombiniranih prometnic razširili za 2 m (slika 1, D). GKOT smo reklasificirali v dva razreda:
 prometnice pod vegetacijo (ASPRS razredi 3, 4 in 5) in prometnice na utrjenem površju (ASPRS razredi
 2 in 6) ter naredili podatkovno množico oznak iz slikovnih elementov, ki se nahajajo na geometriji raz-
 širjenih prometnic. Poleg razreda tal (APSRs razred 2), smo vključili tudi razred stavb (ASPRS razred 6),
 da so se modeli lažje naučili ločevati prometnice okoli stavb zaradi nenadne topografske spremembe.

Učenju modela smo namenili 170 (81 %), validaciji 20 (9,5 %) in testiranju 20 listov (9,5 %) mreže
 SIHM1000. Stabilnost in uspešnost posameznih modelov smo ocenili na osnovi učnih in validacijskih
 funkcij izgub. Za funkcije izgube smo izbrali kategorično navzkrižno entropijo (angleško *categorical
 cross-entropy*), pogosto uporabljeno mero za izračun uspešnosti večrazredne semantične segmentaci-
 je nevronske mreže, ki so aktivirane s funkcijo *softmax*. Vse modele smo učili 30 epoch, kar pomeni,
 da so modeli 30 krat šli čez celotno učno in validacijsko množico.

Končni rezultat je unija rezultatov vseh modelov. Za razliko od vmesnih rezultatov modelov je kon-
 čni rezultat binarna maska zaznanih prometnic. Rezultati globokega učenja so slike brez geolokacijskih
 metapodatkov. Za prostorsko umeščanje rezultatov, smo uporabili geolokacijske datoteke izpeljane iz vhod-
 nih (geolociranih) rastrov značilnk. Poleg tehničnih vidikov, smo preučili tudi praktično uporabnost modela
 v realnih scenarijih, vključno s hitrostjo delovanja, enostavnostjo implementacije in morebitnimi ome-
 jtvami pri uporabi.

Končni rezultat smo primerjali s testnimi podatki ter ocenili skladnost z uporabo naslednjih metrik
 (Haghighi 2018):

- absolutna točnost: delež pravilno pozitivnih napovedanih slikovnih elementov glede na oznake iz
 vektorskega sloja prometnic;
- priklic: razmerje pravilno pozitivnih napovedi in vsote pravilno pozitivnih in napačno negativnih napovedi;
- delež napačno pozitivnih napovedi.



Slika 2: Zaporedje samodejnih procesov.

Diagram samodejnega procesa lahko vidimo na sliki 2.

Modeliranje smo izvajali z visokonivojsko knjižnico Keras. Procese smo paralelizirali na grafični procesni enoti NVIDIA GeForce RTX 2080 SUPER (8 GB) in računalniku s procesorjem Intel® Core™ i9-990X (3,50 GHz x 20) in pomnilnikom od 64 GB RAM na OS z Linux jedrom 6.5.0-17.generic.

3 Rezultati in njihovo ovrednotenje

Kot glavni rezultat lahko izpostavimo, da se je učenje tako zastavljenih modelov izkazalo kot stabilno. Na sliki 3 lahko vidimo spremembe točnosti in validacijske točnosti nekaterih modelov skozi epohe, prav tako tudi vrednosti izgube in validacijske izgube.

Na vseh primerih lahko vidimo, da sta točnost in validacijska točnost nad 97 %. Podobnost točnosti in validacijske točnosti kaže na to, da so modeli (zelo) uspešni tudi na podatkih, ki jih med učenjem niso upoštevali. Večina modelov ima podobno razliko med vrednostmi izgube in validacijske izgube. Model sestavljen iz matrik DMR – intenziteta – število odbojev (reliefni model 1) ima večjo razliko. Velika razlika med izgubo in validacijsko izgubo lahko kaže na prenaučenos modela (angleško *overfitting*). Tovrstni model se dobro prilagaja učnim podatkom, ampak naučeno slabše posplošuje na novih podatkih. Končne vrednosti izgube so zelo majhne in zadovoljive v večini primerov. Na osnovi teh metrik lahko trdimo, da je reliefni model 1 prenaučen. Pri večini modelov se razlike stopnjujejo po deseti epohi. To pomeni, da bi bila morebitna optimizacija modela učenje samo do deset epoh. Druga optimizacijska rešitev, bi lahko bila implementacija regularizacijskih tehnik, kot so L1, L2 ali dodajanje plasti izpada (angleško *dropout*; Goodfellow, Bengio in Courville 2016).

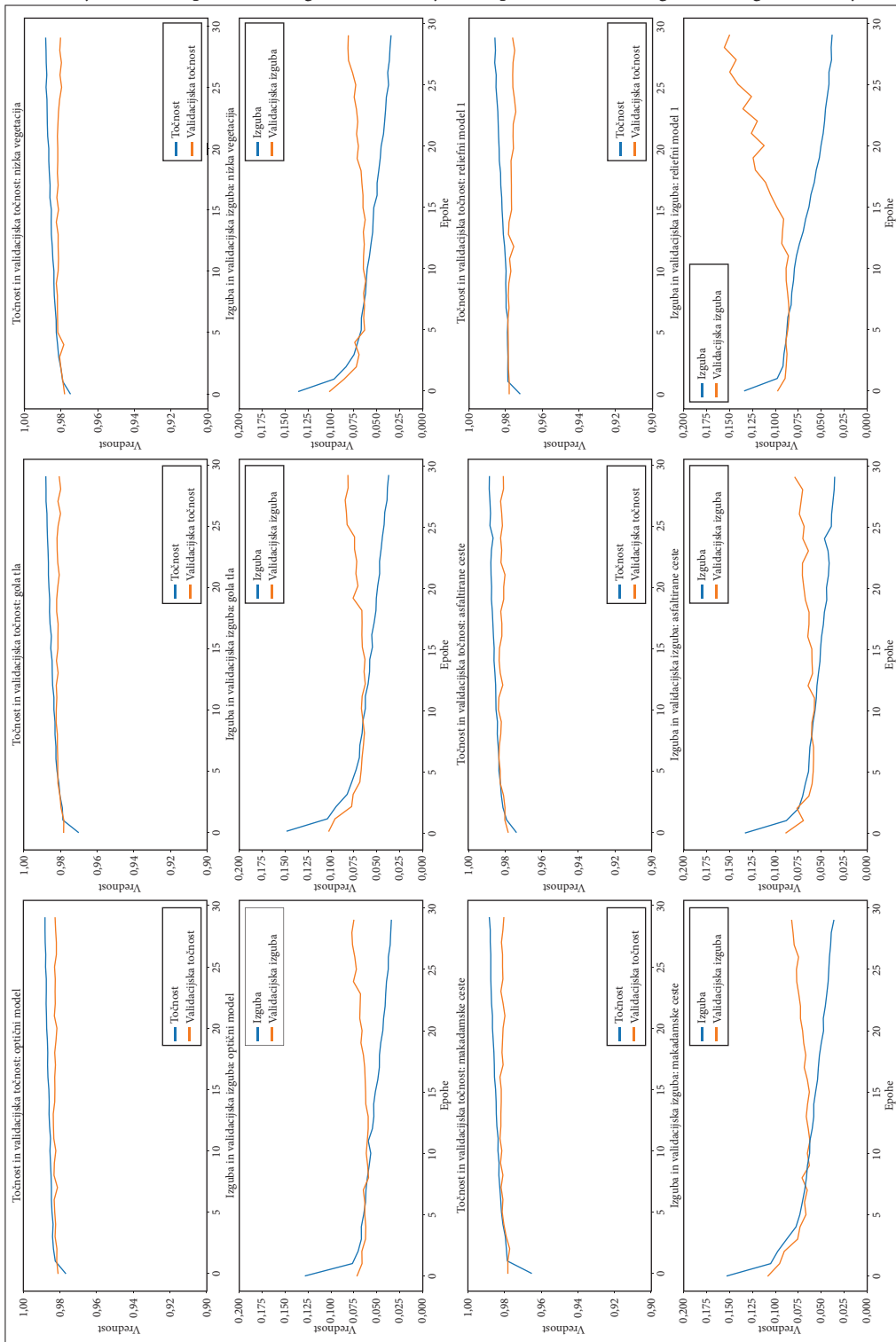
Trajanje učenja ene epohe je bilo med 40 in 58 s za vse modele; le prve epohe so trajale med 127 in 138 s. To pomeni, da smo za učenje vseh modelov potrebovali približno 16 ur. Trajanje napovedi je pri vseh modelih trajalo približno enako: posamezen model je potreboval 225 s za napoved 20 testnih listov (20 km²). To pomeni, da bi za zaznavo prometnic na celotnem območju Slovenije v enakem okolju potrebovali približno 18,5 dni. Priprava značilik traja med 3 in 10 s na list (osnovne značilke so hitrejše od kompleksnejših značilik, kot sta homogenost in varianca sivinskih nivojev).

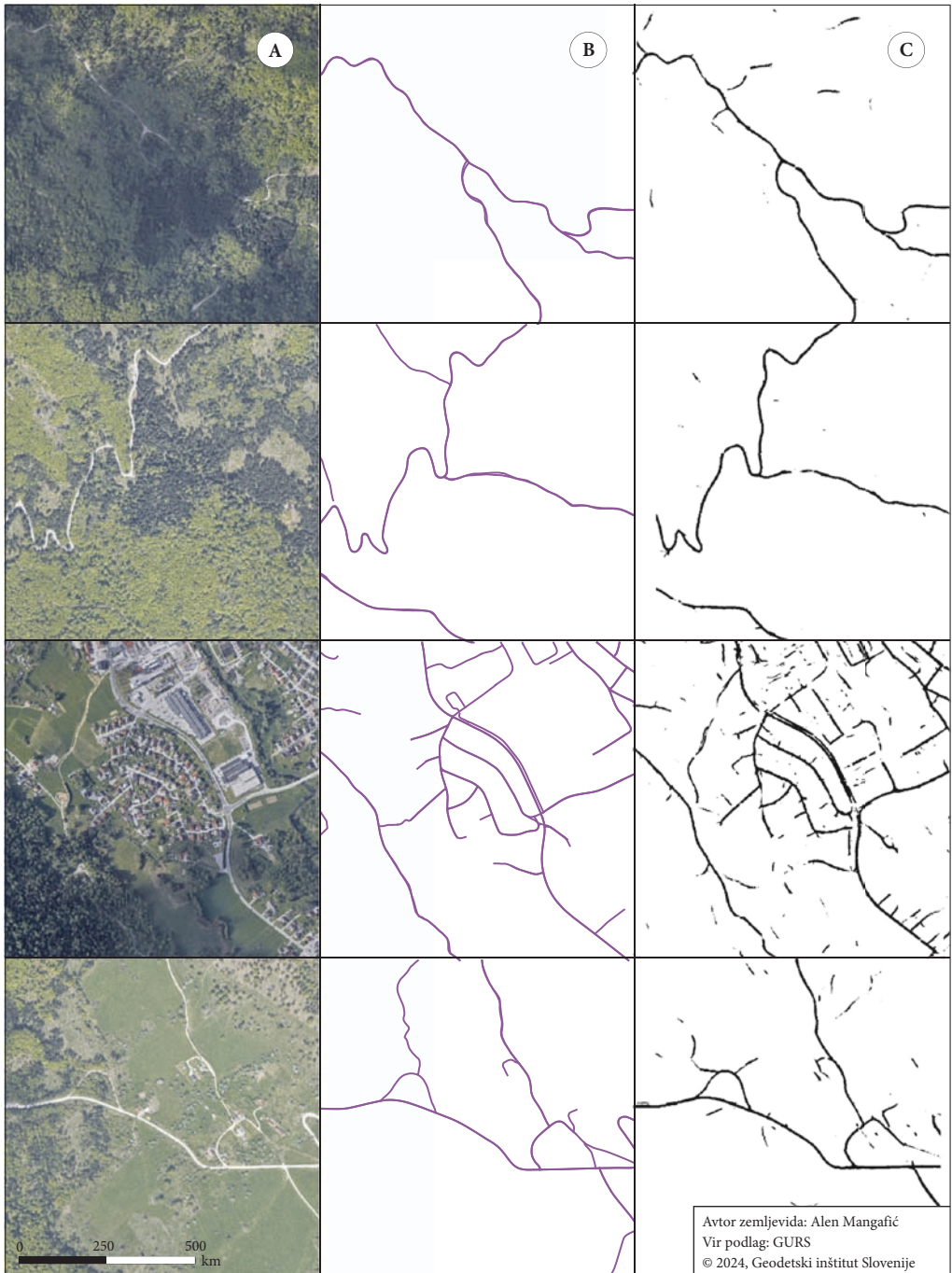
Končni rezultat (slika 4) je dosegel skupno točnost nad 99,8 % in priklic v vrednosti od 60 %. Skupna točnost in priklic v tem primeru nista zanesljiva, saj je večina upoštevanih vrednosti iz razreda ozadja (razred, kjer je odsotnost prometnic), ki je v veliki večini. Dejstvo je, da smo testno množico primerjali z vektorskim slojem oznak, ki nima evidentiranih vseh prometnic ter da je vsak slikovni element, napovedan kot prometnica brez oznake (torej vsaka nova prometnica), označen kot napačno negativna napoved, ki v tem primeru znaša 38 %. Stopnja napačno pozitivnih napovedi znaša 0,001 %, kar pomeni, da je končni rezultat zelo uspešen pri razlikovanju prometnic od ostalega. Primere rezultatov modeliranja lahko vidimo na sliki 4.

Opazimo lahko, da je preizkušeni model uspešno zaznal prometnice pod krošnjami, ter da se te razlikujejo od evidentiranih. Zato menimo, da gre za uspešen model. Opazne so prekinitev v zaznanih prometnicah, ki so najverjetneje posledica odstopanj v vhodnih podatkih. Sklepamo, da določene prometnice niso zaznane zaradi njihove širine: proces samodejne izdelave učne množice upošteva širino prometnic 2 m povsod. V nadaljevanju bi lahko spremenili proces izdelave učne množice z upoštevanjem različnih širin odmikov od osi (na primer z upoštevanjem atributa širine osi iz različni podatkovnih baz). Na urbanih območjih lahko vidimo, da so odseki cest nepovezani. Temu bi se lahko izognili z izboljšavo metodologije izdelave učnih podatkov: modeli so učeni le na linijskih objektih in zaradi tega določena križišča, parkirišča in podobne površine, ki so široke in imajo ploskovno geometrijo, niso klasificirana kot prometnica.

Slika 3: Točnosti in izgube skozi epohe. ► (str. 175)

Samodejna zaznava prometnic z globokim učenjem na podatkih Cikličnega laserskega skeniranja ...





Slika 4: popolni ortofoto (A), vektorski sloj prometnic (B) in rezultati modeliranja (C).

4 Sklep

Kvaliteta aerolaserskih podatkov ključno vpliva na kvaliteto rezultatov zaznave po tukaj preizkušeni metodi. Podatki, ki so bili uporabljeni za izvedbo testa, so bili podatki novega cikličnega aerolaserskega skeniranja v Sloveniji (CLSS), ki se od prejšnjih loči po višji gostoti točk od predhodnega (LSS) in vsebnosti RGB komponent pripisanih točkam v GKOT. Razvili smo proces avtomatiziranega pridobivanja oznak, kar pospešuje celoten proces in hkrati zmanjšuje produkcijske stroške. Predlagana metoda omogoča zaznavo osnovne geometrije prometnic, za semantično ločitev v posamezne vrste prometnic (npr. pot, boljši in slabši kolovoz, cesta, gozdna vlaka) pa je še vedno potrebna nadaljnja ročna obdelava ali interpretacija. Rezultati so primerni za osnovni opozorilni sloj, na osnovi katerega se lahko preverja stanje evidentiranih objektov (sprememba poteka prometnice), identificira nove ali porušene prometnice ter pomaga ročnemu zajemu pri interpretaciji in identifikaciji objektov ob novem zajemu na območjih pod vegetacijo.

5 Viri in literatura

- Buján, S., Guerra-Hernández, J., González-Ferreiro E., Miranda, D. 2021: Forest road detection using LiDAR data and hybrid classification. *Remote Sensing* 13. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13030393>
- Goodfellow, I., Bengio Y., Courville, A. 2016. *Deep Learning*. MIT Press.
- Haghighi, S., Jasemi, M., Hessabi S., Zolanvari, A. 2018: PyCM: Multiclass confusion matrix library in Python. *Journal of Open Source Software* 3. DOI: <https://doi.org/10.21105/joss.00729>
- He, K., Zhang X., Ren S., Sun J. 2015: Deep residual learning for image recognition. *arXiv*. arXiv:1512.03385. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1512.03385>
- Haralick, R.M., Shanmugam, K., Dinstein, I. 1973: Textural features for image classification. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-3. DOI: <https://doi.org/10.1109/TSMC.1973.4309314>
- Khanal, A., Estrada, R. 2020: Dynamic deep networks for retinal vessel segmentation. *Frontiers in Computer Science* 2. DOI: <https://doi.org/10.3389/fcomp.2020.00035>
- Long, J., Shelhamer, E., Darrell, T. 2015: Fully convolutional networks for semantic segmentation. *arXiv*:1411.4038. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1411.4038>
- Ronneberger, O., Fischer P., Brox, T. 2015: U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. *arXiv*:1505.04597. 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 računalništvo in informatiko. Ljubljana.



Merilna oprema in rešitve za zajem in obvladovanje prostorskih podatkov
Pooblaščen prodajalec in certificirani servisni center **Leica Geosystems**

GEO SERVIS
Izzive spreminjamo v rešitve

- when it has to be **right**

Leica
Geosystems

Geoservis, d.o.o. | (01) 586 38 30 | info@geoservis.si | www.geoservis.si



Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

Naslov: Novi trg 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

E-pošta: giam@zrc-sazu.si

Medmrežje: <http://giam.zrc-sazu.si>

Inštitut je leta 1946 ustanovila Slovenska akademija znanosti in umetnosti in ga leta 1976 poimenovala po akademiku dr. Antonu Meliku (1890–1966). Od leta 1981 je sestavni del Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti. Leta 2002 sta se inštitutu priključila Inštitut za geografijo, ki je bil ustanovljen leta 1962, in Zemljepisni muzej Slovenije, ustanovljen leta 1946. Ima oddelke za fizično geografijo, humano geografijo, regionalno geografijo, naravne nesreče, varstvo okolja, geografski informacijski sistem in tematsko kartografijo ter fizično-geografski laboratorij, zemljepisno knjižnico in zemljepisni muzej. Na inštitutu je sedež Komisije za standardizacijo zemljepisnih imen Vlade Republike Slovenije. Ukvarja se predvsem z geografskimi raziskavami Slovenije in njenih pokrajin ter pripravo temeljnih geografskih knjig o Sloveniji. Sodeluje pri številnih domačih in mednarodnih projektih, organizira znanstvena srečanja, izobražuje mlade raziskovalce, izmenjuje znanstvenike. Izdaja znanstveno revijo *Acta geographica Slovenica*/Geografski zbornik ter znanstvene knjižne zbirke Geografija Slovenije, Georitem, GIS v Sloveniji, Regionalni razvoj, Naravne nesreče in CAPACities.



ISBN 978-961-05-0887-8



9 789610 508878

39,00 €