

# GIS V SLOVENIJI DIGITALNI PODATKI

ROK CIGLIČ  
MATJAŽ GERŠIČ  
DRAGO PERKO  
MATIJA ZORN



13





GIS V SLOVENIJI 13  
DIGITALNI PODATKI





GIS V SLOVENIJI 13

# DIGITALNI PODATKI

*Uredili:*

**Rok Ciglič**  
**Matjaž Geršič**  
**Drago Perko**  
**Matija Zorn**

LJUBLJANA 2016

GIS V SLOVENIJI 13  
**DIGITALNI PODATKI**

**Rok Ciglič, Matjaž Geršič, Drago Perko, Matija Zorn**

© 2016, Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

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

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

*Recenzenti:* Mateja Breg Valjavec, Rok Ciglič, David Hladnik, Žiga Kokalj, Marko Krevs, Drago Perko,  
Tomaž Podobnikar, Blaž Repe, Tomaž Šturm, Mihaela Triglav Čekada, Matija Zorn

*Izdajatelj:* Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

*Za izdajatelja:* Drago Perko

*Založnik:* Založba ZRC

*Za založnika:* Oto Luthar

*Glavni urednik založbe:* Aleš Pogačnik

*Prelom:* SYNCOMP d. o. o., Ljubljana

*Tisk:* Collegium Graphicum d. o. o.

*Naklada:* 300 izvodov

Prva izdaja, prvi natis. Prva e-izdaja.

*Naslovnica:*

Primerjava panoramskega in lidarskega pogleda z jugozahoda na sredozemsko vas Krkavče z zaselkom Sveti Maver v ospredju. Avtor fotografije je Matevž Lenarčič, avtor lidarskega prikaza pa Žiga Kokalj.

Nekoliko prirejene slike sta vzeti iz uvodnega poglavja Od krtine do lidarja, ki so ga pripravili Drago Perko, Rok Ciglič in Matija Zorn.

Knjiga je prosto dostopna tudi v elektronski obliki (pdf), ISBN 978-961-254-930-5, COBISS.SI ID= 286121728

<http://zalozba.zrc-sazu.si/p/1364>

<https://doi.org/10.3986/9789612549305>

---

CIP – Kataložni zapis o publikaciji

Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

910.1(082)

528(082)

659.2:004:91(082)

DIGITALNI podatki / uredili Rok Ciglič ... [et al.]. – 1. izd., 1. natis. –  
Ljubljana : Založba ZRC, 2016. – (GIS v Sloveniji, ISSN 1855-4954 ; 13)

ISBN 978-961-254-929-9

1. Ciglič, Rok

286121216



---

## VSEBINA

<i>Drago Perko, Rok Ciglič, Matija Zorn</i> Od krtine do lidarja .....	9
<i>Mauro Hrvatini, Drago Perko</i> Morfometrične razlike med pokrajinskimi vročimi in mrzlimi točkami .....	27
<i>Miha Čekada, Petra Gostinčar</i> Uporaba lidarja v jamarstvu .....	35
<i>Klemen Čotar, Žiga Kokalj, Andrej Beden, Matjaž Ivačič, Krištof Oštir</i> Samodejno zaznavanje vodnih površin iz radarskih satelitskih posnetkov in njihov prikaz na spletnem portalu .....	45
<i>Dušan Petrovič, Mojca Kosmatin Fras, Dejan Grigillo, Matjaž Mikoš, Primož Kete, Vesna Dežman Kete</i> Podatki o vodah in vodnih zemljiščih v Sloveniji .....	53
<i>Timotej Mišič</i> Razvoj metodologije in orodja za izdelavo prilagojene trikotniške mreže batimetrije struge kot podlage za hidravlično modeliranje .....	59
<i>Timotej Verbovšek, Petra Vrhovnik, Barbara Čenčur Curk, Margarit Nistor</i> Vpliv porabe vode in podnebnih sprememb na razpoložljivost vodnih virov v jugovzhodni Evropi .....	69
<i>Rok Cedilnik, Krištof Oštir, Žiga Kokalj</i> Satelitsko termično snemanje Ljubljane .....	83
<i>Žiga Kokalj, Janez Žibert, Peter Rogelj, Boštjan Muri, Mateja Iršič Žibert, Peter Pehani, Krištof Oštir</i> Samodejno prepoznavanje vegetacijskih parametrov iz satelitskih podatkov za monitoring suše .....	95
<i>Tomaž Šturm, Rok Pisek, Andrej Kobler, Jurij Beguš, Dragan Matijašič</i> Možnosti uporabe lidarskih podatkov na Zavodu za gozdove Slovenije .....	105
<i>Tatjana Veljanovski, Aleš Marsetič, Klemen Čotar, Krištof Oštir</i> Opazovanje motenj v gozdovih s satelitskimi posnetki nizke prostorske ločljivosti .....	115
<i>Boštjan Kop, Blaž Repe, Tomi Trilar</i> Modeliranje razširjenosti gozdnega klopa ( <i>Ixodes ricinus</i> ) na območju Upravne enote Ruše .....	135
<i>Drago Perko, Rok Ciglič</i> Določanje pokrajinskih vročih in mrzlih točk iz pokrajinskih tipizacij Slovenije .....	149
<i>Benjamin Štular, Edisa Lozić</i> Primernost podatkov projekta Lasersko skeniranje Slovenije za arheološko interpretacijo: metoda in študijski primer .....	157
<i>Mihaela Triglav Čekada, Nika Mesner, Blaž Barborič</i> Lasersko skeniranje kot vir podatkov za določitev vseh stavb v Sloveniji .....	167



<i>Ivan Stanič, Marko Premelč, Vitomir Wolf, Miha Zorn</i> Prostorsko planiranje in upravljanje na lokalni ravni z uporabo tehnologij geografskih informacijskih sistemov .....	179
<i>Janez Nared, David Bole, Rok Ciglič</i> Določanje stičnih naselij za vrednotenje opremljenosti naselij s storitvami splošnega in splošnega gospodarskega pomena .....	193
<i>Tomaž Žagar</i> Izris dinamičnih spletnih tematskih kart na strani odjemalca .....	203
<i>Klemen Prah, Gregor Štrubelj, Bojan Rupnik, Tomaž Kramberger, Dejan Dragan</i> GIS pri študiju in raziskovalnem delu v logistiki .....	209
<i>Blaž Repe</i> Zemljevid besedil pesmi Franka Zappe .....	223
<i>Gregor Završnik</i> Arhiviranje digitalnih prostorskih podatkov .....	243
<i>Mojca Janžekovič</i> Uporaba igre EarthCache v osnovni šoli .....	253
<i>Luka Novak, Julij Jeraj</i> Projekt Athena – možnosti družbenih omrežij v času izrednih razmer .....	265

## OD KRTINE DO LIDARJA

**dr. Drago Perko, dr. Rok Ciglič, dr. Matija Zorn**

Geografski inštitut Antona Melika, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti  
drago@zrc-sazu.si, rok.ciglic@zrc-sazu.si, matija.zorn@zrc-sazu.si

UDK: 911.52:551.4(497.4)

659.2:004:91(497.4)

### IZVLEČEK

#### **Od krtine do lidarja**

Knjižna zbirka GIS v Sloveniji je bienalna monografska publikacija, ki izhaja v sodih letih že četrto stoletje, zato daje pester pregled razvoja prostorskih podatkov v Sloveniji in drugih državah. Med najbolj zanimivimi prostorskimi podatki so podatki o višinah in oblikovanosti površja, saj so reliefne prvine prikazane že na najstarejših zemljevidih, so pogosto temeljni sloj v geografskih informacijskih sistemih, v večini slovenskih pokrajin pa je oblikovanost površja najpomembnejša sestavina pokrajine. Tovrstni podatki so pomembni v analitičnem smislu, pa tudi v vizualnem smislu v klasični kartografiji, digitalni kartografiji in računalniških predstavitev.

### KLJUČNE BESEDE

geografija, pokrajina, prostorski podatki, relief, površje, reliefna oblika, zemljevid, geografski informacijski sistem, Slovenija

### ABSTRACT

#### **From molehill to lidar**

The book series GIS in Sloveniji (GIS in Slovenia) is a biennial publication of monographs published in even years. It gives a quarter of a century-old overview of the development of spatial data in Slovenia and other countries. Among the most interesting spatial data are information about elevation, surface and landforms. Landform elements appear already in the most ancient maps, are often the basic layer in modern geographic information systems, and are the most important component of almost all Slovenian landscapes. Such data are important in analytical terms, but also in visual terms in classical cartography, digital cartography and computer presentations.

### KEY WORDS

geography, landscape, spatial data, relief, surface, landform, map, geographic information system, Slovenia

## 1 Uvod

Trinajsta knjiga iz zbirke **GIS v Sloveniji** nosi naslov *Prostorski podatki*. Ta širok izraz je povezan s skoraj vsemi vsebinami, objavljenimi v tej zbirki, hkrati pa ga praktično enako razumejo vse stroke, ki pri svojem delu uporabljajo geografske informacijske sisteme.

Z **digitalnimi prostorskimi podatki** gradimo **digitalni prostor**, ki ga lahko opredelimo kot navidezno resničnost. Z digitalizacijo pa se srečujemo tudi pri številnih vsakdanjih dejavnostih v naših življenjih, zato je digitalni prostor vse bolj naša dejanska resničnost in pravimo, da živimo v **digitalnem svetu** (Ciglič, Perko, Zorn 2014).

Posamezne stroke namesto splošnega izraza »prostor« uporabljajo tudi bolj konkretne, skoraj so-pomenske izraze: geografija, na primer, izraz »pokrajina«. **Geografski informacijski sistem**, poslovenjeno »zemljepisni podatkovni sestav«, pa pravzaprav ni nič drugega kot pokrajina, ujeta v računalnik. Takemu trirazsežnostnemu računalniškemu prikazu resnične pokrajine pravimo navidezna pokrajina ali **virtualna regija**. Pokrajina je sestavljena iz pokrajinskih sestavin, kot so na primer kamnine, vode, rastlinstvo, prebivalstvo ali naselja, geografski informacijski sistem pa iz podatkovnih slojev, ki so digitalni, računalniški prikaz pokrajinskih sestavin (Perko in Zorn 2010a). Z geografskimi informacijskimi sistemi pa je močno povezana tudi **digitalna kartografija**, saj tudi zemljevidi prikazujejo posamezne pokrajinske sestavine oziroma podatkovne sloje.

Zelo dober pregled razvoja prostorskih podatkov in njihove uporabnosti v Sloveniji podaja prav bialna knjižna zbirka monografij GIS v Sloveniji (Perko in Zorn 2010b).

Med najbolj zanimivimi prostorskimi podatki so podatki o višinah in oblikovanosti površja, saj so reliefne prvine prikazane že na najstarejših zemljevidih, so pogosto temeljni sloj v geografskih informacijskih sistemih, v večini slovenskih pokrajin pa je oblikovanost površja najpomembnejša sestavina pokrajine. Tovrstni podatki so pomembni v analitičnem smislu, pa tudi v vizualnem smislu v klasični kartografiji, digitalni kartografiji in računalniških predstavitvah. Relief je torej pomembna sestavina pokrajin, zato pa tudi zemljevidov in geografskih informacijskih sistemov.

Z reliefnimi podatki se ukvarjajo prispevki v prav vseh trinajstih knjigah iz zbirke GIS v Sloveniji. Namen tega uvodnega prispevka pa je kratek, poenostavljen opis izjemnega napredka prikaza reliefa od starih zemljevidov s »krtinami« do prikaza s pomočjo podatkov laserskega skeniranja oziroma lidarja, ki je najbolj pogosta tema tokratne, 13. knjige, saj o podatkih laserskega skeniranja govori kar dobra tretjina oziroma 8 od 23 prispevkov.

## 2 Relief

Beseda **relief** je tujka. Izhaja iz francoskega samostalnika *relief*, ki je prvotno pomenil »kar je dvignjeno« in je bil izpeljan iz francoskega glagola *relevare* »dvigniti« oziroma latinskega glagola *relevare* z enakim pomenom (Snoj 1997).

Maks Pleteršnik (1840–1923) v Slovensko-nemškem slovarju gesla *relief* nima, pač pa uporablja samostalnik *pridvig*, ki ga enači z nemškim samostalnikom *Relief* (Pleteršnik 1895). Slovenski pravopis (1962) pozna samostalnik *relief* s sopomenkama *pridvig* in *nadvig*, samostalnik *reliefnost* ter pridevnik *reliefen* s sopomenkama *pridvižen* in *nadvičen* (primer: pridvižna podoba). Tudi slovarja tujk (Verbinc 1979; Bunc 1981) razlagata tujko *relief* s slovenskima sopomenkama *pridvig* in *nadvig*. Slovar slovenskega knjižnega jezika (1995) navaja samostalnik *relief* in slovensko sopomenko *pridvig* (primer: stene so okrašene s pridvigi), samostalnik *reliefnost* (primer: sence dajejo likom na sliki reliefnost), pridevnik *reliefen* (primer: reliefni tisk) s slovensko sopomenko *pridvižen* (primer: rezljane pridvižne podobe) in prislov *reliefno* (primer: reliefno oblikovan žig), vendar slovenski sopomenki označuje kot zastareli jezikovni prvini.

Slovenski pravopis (2001) in Slovar slovenskega knjižnega jezika (2005) navajata samostalnik *reliefnost*, pridevnik *reliefen*, prislov *reliefno* in samostalnik *relief*, njegove slovenske sopomenke *pridvig* pa prvi ne več, drugi pa jo opredeljuje kot zastarel izraz.

V slovenskem jeziku kot sopomenko *relief*a pogosto uporabljamo izraz *površje*, ki pa ima nekoliko širši, splošnejši pomen kot *relief*: površje pomeni zunanji, vrhnji del trdnih in tekočih snovi, na primer kamna, jezera ali kože, relief pa izoblikovanost tega površja. V tem smislu je relief le bistvena lastnost površja.

Beseda *relief* se največ uporablja v umetnosti, kjer pomeni kiparsko delo, pri katerem upodobitev izstopa iz osnovne ploskve, v tehniki, kjer je na primer poznano reliefno tiskanje, in v znanosti, kjer večinoma pomeni izoblikovanost zemeljskega površja. V zadnjem pomenu ga razumemo tudi v geografiji in sorodnih vedah (Perko 2001).

### 3 Digitalni model reliefa

**Digitalni model reliefa** je tema številnih prispevkov že od prve monografije GIS v Sloveniji. Izraz je sicer prvi uporabil ameriški gradbenik Charles Leslie Miller, ko je med letoma 1955 in 1960 s sodelavci razvijal računalniško podprto načrtovanje cestne infrastrukture (Doyle 1978). Izraz sestavljajo tri besede: samostalnika *model* in *relief* ter pridevnik *digitalen*.

Beseda *relief* ali *pridvig* pomeni izoblikovanost površja, beseda *model* (francosko *modèle* »kalup, vzorec« iz latinsko *modus* »način, mera«) pa maketo, manekena ali vzorec (Snoj 1997) oziroma predmet za ponazoritev, osebo in stvar za upodabljanje ali pa vzorec (Slovar ... 1995; Slovar ... 2005).

Beseda *digitalen*, ki je v slovenski jezik prišla iz angleškega jezika (angleško *digit* »številka, prst« iz latinsko *digitus* »prst«), v tehniki pomeni nezvezen, stopnjast, postopen, predstavljen in merljiv s števili, številčen. Nasprotje je pridevnik *analogen* (grško *análogos* »podoben, skladen, primeren« iz *aná* »na, gor, po« in *lógos* »beseda, trditev, misel, razum, nauk, merilo«), ki v tehniki pomeni zvezen, stalen, predstavljen in merljiv z zvezno spreminjajočimi se vrednostmi. Slovar slovenskega knjižnega jezika (1995 in 2005) kot primer navaja izraz digitalni računalnik, ki ga opiše kot »računalnik, pri katerem so podatki predstavljeni v obliki niza ločenih številčnih vrednosti«. Podobno lahko izraz *digitalni model reliefa* opišemo kot *model izoblikovanosti površja*, prikazan z nizom ločenih številčnih vrednosti.

Digitalni model reliefa ali **številčni prikaz pridviga** je torej način prikaza izoblikovanosti površja s števili, razumljiv pa bi bil tudi izraz *računalniški prikaz izoblikovanosti površja*.

Za digitalni model reliefa se včasih uporabljajo tudi drugi izrazi z enakim ali zelo podobnim pomenom: na primer *digitalni model višin* oziroma *digitalni elevacijski model* (angleško *elevation* »dviganje, višina« iz latinsko *elevatio* »dviganje«) in digitalni model terena (francosko *terrain* »zemljišče, ozemlje« iz latinsko *terra* »zemlja, dežela«). Približne tujejezične sopomenke za izraza digitalni model reliefa in digitalni model terena so: angleško *digital relief model* in *digital terrain model*, nemško *digitales Reliefmodell*, *digitales Terrainmodell* in *digitales Geländemodell*, špansko *modelo numérico del relieve* in *modelo numérico del terreno*, francosko *modèle numérique du relief* in *modèle numérique de terrain*, italijansko *modello numerico del relieve* in *modello numerico del terreno*, rusko *цифровая модель рельефа* in *цифровая модель местности*, poljsko samo *cyfrowy model terenu*, češko *digitální model reliéfu* in *digitální model terénu*, slovaško *digitálny model reliéfu* in *digitálny model terénu*, hrvaško in srbsko *digitalni model reliefa* in *digitalni model terena* ter bolgarsko *digitalen model na reliefa* in *digitalen model na mestnostta*.

V tuji geografski literaturi, predvsem angleški in ameriški, izraz *relief* najpogosteje pomeni oblike zemeljskega površja ali celo samo višinske razlike, izraz *teren* pa poleg oblik zemeljskega površja vključuje še prsti in rastje oziroma vse naravne sestavine zemeljskega površja (na primer Whittow 1986; Summerfield 1991; Ahnert 1996; Allaby in Allaby 1996; Small in Witherick 1996; Clark 1998). Angleški slovar (Cambridge international dictionary of English 1995), ki vsebuje tudi temeljno geografsko

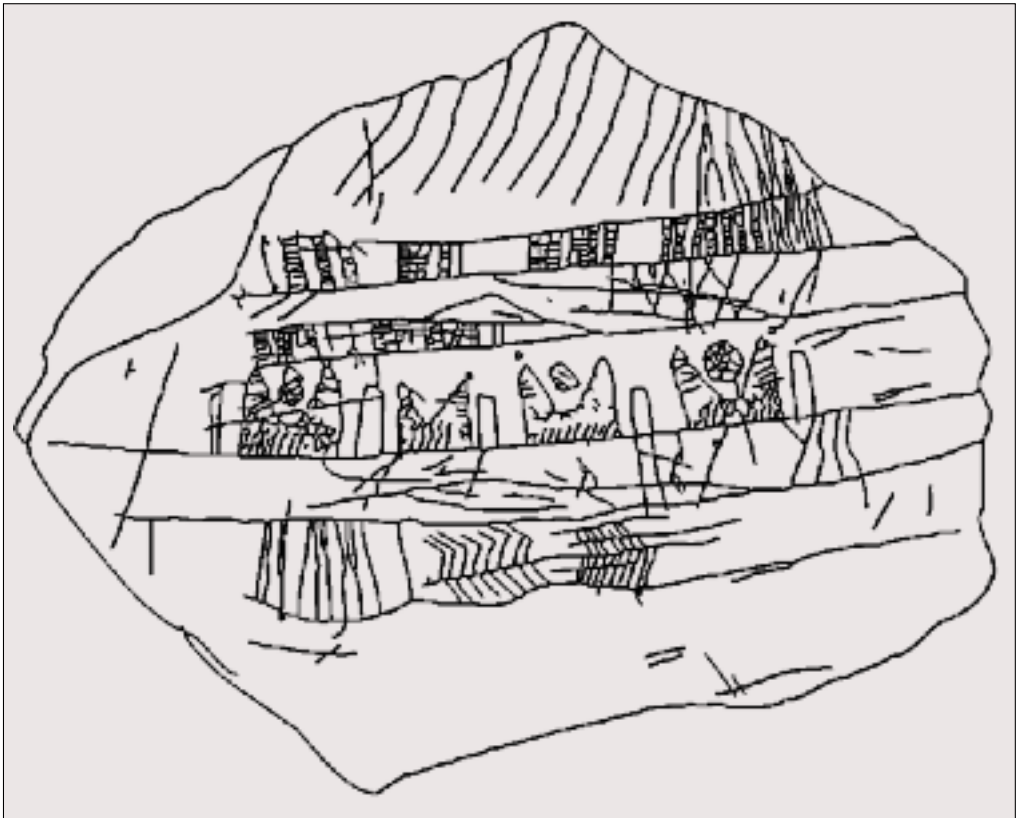
izrazoslovje, opiše teren kot »območje zemeljskega površja glede na njegove naravne značilnosti«. Na temelju omenjenih razlik je mogoče ločiti:

- digitalni model višin, ki vsebuje le podatke o nadmorskih višinah,
- digitalni model reliefa, ki poleg nadmorskih višin vsebuje še druge prvine izoblikovanosti površja,
- digitalni model terena, ki poleg podatkov o izoblikovanosti površja vsebuje še podatke o ostalih naravnih značilnostih površja (Doyle 1978; Rihtaršič in Fras 1991), in
- digitalni model pokrajine, ki vsebuje podatke o naravnih in družbenih značilnostih pokrajine.

## 4 Krtine

Kako pomembna sestavina zemljevidov je relief, dokazuje zgodovina zemljevidov, saj so reliefne prvine prikazane tudi na najstarejših zemljevidih, ki so jih do zdaj odkrili arheologi.

Leta 1966 so arheologi v ukrajinskem mestecu Mezirič, ki leži dobrih 100 km jugovzhodno od Kijeva, našli mamutov okel (slika 1), v katerega naj bi paleolitski »kartograf« v 12. tisočletju pr. n. št. vrezal najstarejši znani zemljevid (James in Thorpe 1994). Štiri leta prej so vzhodno od vasi Dolní Věstonice pri Pavlovu na Moravskem našli graviran mamutov okel, ki naj bi bil star kar okoli 25.000 let. Upodobljal



Slika 1: Preris mamutovega okla, najdenega jugovzhodno od Kijeva v Ukrajini, prikazuje paleolitska bivališča vzdolž reke. Slika, vrezana v 12. tisočletju pr. n. št., naj bi bila najstarejši znani zemljevid v velikem merilu.

naj bi vijugajočo reko, goro in bivališča, ali pa razporeditev dolin in vzpetin kot načrt za lov (Gašperič 2015; Svoboda 2007; Utrilla s sodelavci 2009).

Leta 1963 pa je James Mellaart pri odkopavanju ostankov neolitskega naselja Çatal Höyük v Turčiji odkril slike na stenah notranjosti svetišča, ki prikazujejo načrt naselja s tlorisi okrog osemdeset zgradb na pobočnih terasah, iznad katerih se dviga gora z oblakom dima in pepela nad vrhom ter ognjeniški bombami po pobočju. Gora naj bi bila 3268 m visok ognjenik Hasan Dağı, ki stoji ob vzhodnem robu pokrajine Konya Ovası, ravnine severovzhodno od mesta Konya, okrog 200 km južno od turškega glavnega mesta Ankare. Slike naravne nesreče so po Mellaartovem prepričanju najstarejši do zdaj odkriti pravi zemljevid. Po radioogljikovi metodi so bile narisane med letoma 6300 in 6100 pr. n. št. (Smith 1987). Vzpetina, prvina reliefa, je prikazana v narisu oziroma prerezu, naselje pa v tlorisu (slika 2).

Oba kamenodobna zemljevida sta primera zemljevidov v velikem merilu, saj prikazujeta le nekaj sto metrov veliko območje, najstarejši zemljevid v majhnem merilu pa je 76 mm dolga in 68 mm visoka sumerska glinasta ploščica (slika 3), ki so jo leta 1930 našli pri izkopavanju ostankov mesta Ga-Sur blizu mesta Kirkük v današnjem Iraku. S trstnim pisalom naj bi zemljevid v mehko glino vrisali okoli 2300 let pr. n. št. (Millard 1987) oziroma 2500 let pr. n. št. (Fridl 1999) ali pa celo že okoli 3800 let pr. n. št. (Koeman 1993; Wilhelmy 1996). Na zemljevidu sta poleg vodnih tokov ali prekopov, krožcev za naselja in nekaterih napisov narisani tudi gorovji, prikazani s poenostavljenimi obrisi oziroma narisi vzpetin, delno prekritimi polkrožci, prevrnjenimi v ravnino oziroma tloris. Zemljevid naj bi prikazoval severni del Mezopotamije z reko Evfrat na sredini in njeno delto na jugu, gorovjem Zagros na vzhodu ter gorovjem Libanon ali Antilibanon na zahodu (Koeman 1993).

Najstarejši zemljevid na papirju (papirusu), od katerega pa so ohranjeni le posamezni koščki, je nastal v Egiptu verjetno okoli leta 1300 pr. n. št. (Wilhelmy 1996), ko sta vladala faraona Ramzes I. in nato njegov sin Ramzes II., še verjetneje pa okoli leta 1150 pr. n. št. (Shore 1987), ko je vladal faraon Ramzes IV., ki je spodbujal merjenje države in označevanje mej zemljišč. Zemljevid je bil narisano prostoročno na okrog 2000 let starejši papirusov zvitok. Hrani ga torinski muzej Egizio, zato se imenuje tudi Torinski



Slika 2: Preris dela notranje stene svetišča neolitskega naselja Çatal Höyük v Turčiji, poslikane v 7. tisočletju pr. n. št., prikazuje izbruh ognjenika nad naseljem, torej naravno nesrečo. Slika naj bi bil najstarejši znani tematski zemljevid.

papirus. Največji ohranjeni del zemljevida, ki je dolg 51 cm in širok 41 cm, naj bi prikazoval nubijske rudnike zlata z rudniškimi naselji in potmi med Nilom in Rdečim morjem, vzdolž katerih so na obe strani v ravnino prevrnjeni obrisi vzpetin, kjer so kopali zlato rudo. Z odtenki rdeče barve naj bi bili prikazani granit, peščenjaki in puščavski pesek (Shore 1987), zato naj bi bil najstarejši zemljevid na papirusu tudi najstarejša geološka karta (slika 4).

Glavne načine prikazovanja reliefa na zemljevidih lahko združimo v:

- stilizacijske metode,
- geometrijske metode,
- prostorske ali plastične metode,
- kombinirane metode.

**Stilizacijske metode** relief prikazujejo s preprostimi oblikami, običajno prerezi vzpetin, ki so v najbolj poenostavljeni obliki podobni trikotnikom ali polkrogom. Nizi vzpetin so prikazani z bolj ali manj prekritimi liki, ki so podobni cikcakastim črtam, žaginim zobovom, ribjim luskam, strešnikom, valovom, nagubanim zavesam, spletenim kitam, **krtinam** in celo gosenicam (Imhof 1965; Tyner 1992; Robinson in sodelavci; Wilhelmy 1996). Tudi na starih zemljevidih ozemlja današnje Slovenije so vzpetine prikazane v poenostavljeni obliki.

V 16. stoletju je Augustin Hirschvogel (1503–1553), nemški slikar na steklo, grafik, kartograf in lončar, ki je kot kartograf med letoma 1536 in 1543 deloval v Ljubljani, pripravil zemljevid *Schlavoniae, Croatiae, Carniae, Istriae, Bosniae, finitimarumque regionum nova descriptio* »Novi prikaz Slavonije, Hrvaške, Kranjske, Istre, Bosne in sosednjih pokrajin« (slika 5). Vzpetine niso več prikazane s polkrogci ali trikotniki, ampak so že bolj podobne dejanskim oblikam, njihova razporeditev pa je še daleč od resnične. Izrazito sta poudarjena porečje Save in gozdni pas, ki se vleče od Soče čez Notranjsko proti Dalmaciji. Napisov za naselja je več kot na podobnih starejših zemljevidih, vendar so njihove lege pogosto netočne. Lesorez meri 80,2 krat 15,7 cm (Korošec 1978). Pomembno je, da je sloviti nizozemski kartograf in založnik Abraham Ortelius (1527–1598) ta zemljevid leta 1570 vključil v prvo izdajo atlasa *Theatrum orbis terrarum* (Mihevc 1998).



Slika 3: Preris sumerske glinaste ploščice iz 4. ali 3. tisočletja pr. n. št., najdene v Iraku, prikazuje severno Mezopotamijo z reko Evfrat v sredini. Slika naj bi bila najstarejši znani zemljevid v majhnem merilu.

Še večji dosežek za Slovence je zemljevid *Ducatus Carnioliae Tabula Chorographica* »Horografski zemljevid Vojvodine Kranjske« (slika 6), ki ga je izdelal *Joannes Disma Floriantscitsch de Grienfeld* »Janez Dizma Florjančič plemeniti Grienfeld« (1691–1757) leta 1744. Na zemljevidu, sestavljenem iz 12 listov v približnem merilu 1 : 100.000 (Mihevc 1998), je relief še vedno prikazan panoramsko, vendar pa so nekatere vzpetine že precej podobne dejanskim, na primer Šmarna gora. Na zemljevidu se prvič pojavi napis za Triglav kot *Mons Terglou*, poleg njega pa je navedena še višinska razlika med vrhom gore in Ljubljano. Senčenje s črtkami je zelo izrazito.

Med **geometrijskimi metodami** je najpomembnejša metoda prikazovanja reliefa z izohipsami ali višinskimi črtami in izobatami ali globinskimi črtami. V kartografiji jih je leta 1584 prvi uporabil nizozemski zemljemerec Pieter Bruinsz (Wilhelmy 1996; Thrower 1996), ki je prikazal globino reke Spaarne skozi Haarlem na Nizozemskem. Leta 1749 je francoski inženir Millet du Mureau prvi predlagal, da bi se kopno prikazovalo z višinskimi črtami (Wilhelmy 1996). Leta 1771 je Du Carla (1738–1816), prav tako francoski inženir, izdelal prvi zemljevid z izohipsami, ki je prikazoval izmišljeni otok, njegovo teorijo prikazovanja reliefa z izohipsami pa je leta 1782 dopolnil francoski geograf Jean Louis Dupain-Triel (1722–1805), ki je leta 1791 izdal zemljevid Francije, prvi večji zemljevid v manjšem merilu z izohipsami. Na njem so se višinske črte z večjimi višinami vse bolj debelile, zato so zakrivale ostale znake in močno zmanjševale preglednost. Širšo uporabo so izohipse doživele šele v drugi polovici 19. stoletja, ko so barometer in številne druge nove merilne naprave omogočale hitro določanje višin velikega števila točk.



MUZEJ EGIZIO, TORINO, ITALIJA

Slika 4: Najstarejši zemljevid iz papirja (papirusa), na katerem so egipčanski kartografi ob koncu 2. tisočletja pr. n. št. nubijske vzpetine z rudniki zlata prikazali z obrisi, prevrnjenimi v ravnino, naj bi bil tudi prva geološka karta.





KONGRESNA KNJIZNICA, WASHINGTON, ZDA

Slika 5: Pomanjšani izsek zemljevida Novi prikaz Slavonije, Hrvaške, Kranjske, Istre, Bosne in sosednjih pokrajin kartografa Augustina Hirschvogla iz leta 1570. Relief je prikazan s «senčnimi grički».



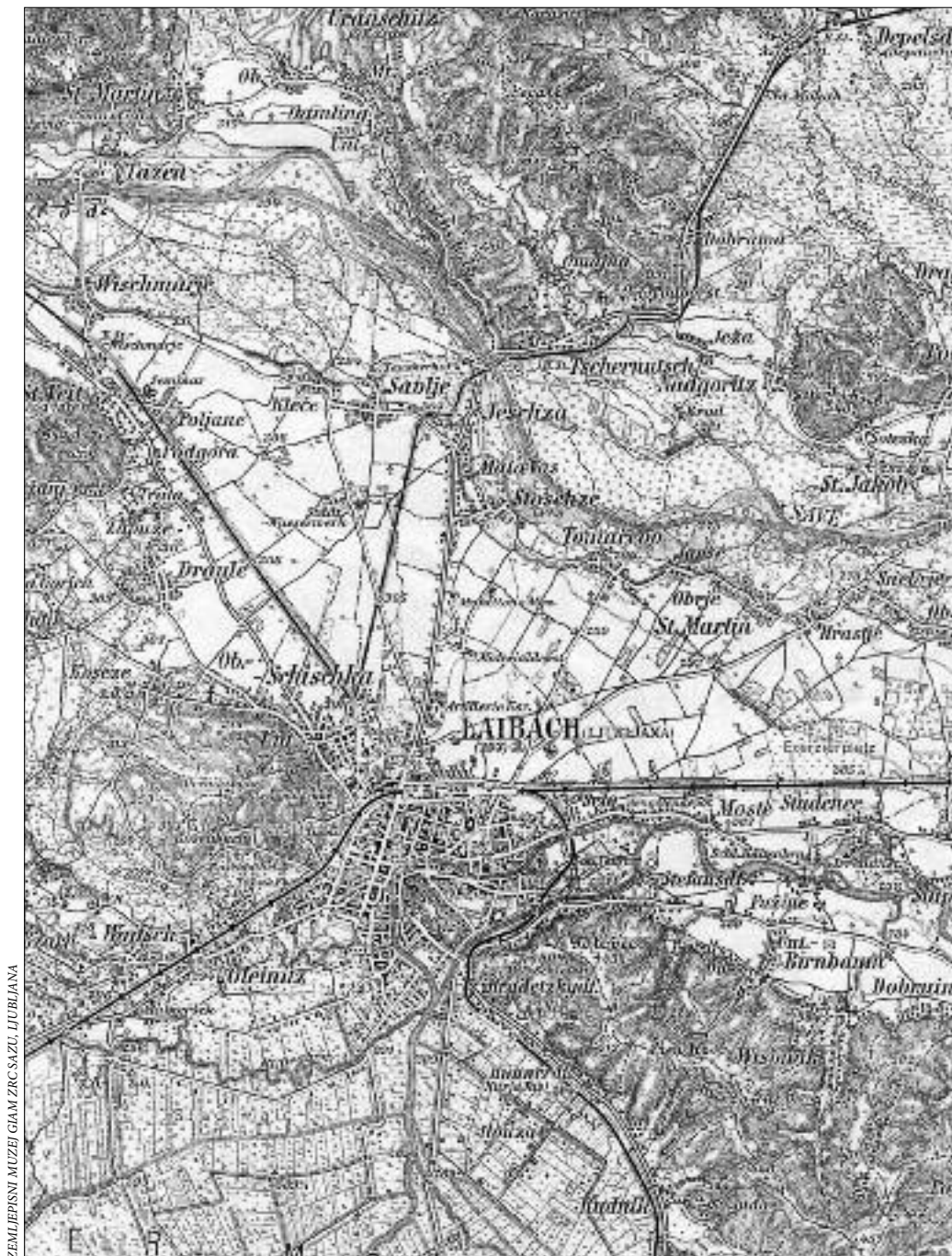
ZEMLJEPIŠNI MUZEJ GIAM ZRC SAZU, LJUBLJANA

Slika 6: Pomanjšani izsek Horografskega zemljevida Vojvodine Kranjske slovenskega kartografa Janeza Dizme Florjančiča plemenitega Grienfelda iz leta 1744.



AVSTRUJSKI DRŽAVNI ARHIV, DUNAJ, AVSTRUJA

Slika 7: Blejsko jezero z okolico na izseku Jožefinskega vojaškega zemljevida v merilu 1 : 28.800, ki je bil za slovensko ozemlje izdelan med letoma 1784 in 1787. Relief je prikazan s črticami.



ZEMLEPIŠNI MUZEJ GJAM ZRC SAZU, LJUBLJANA

Slika 8: Ljubljana z okolico na izseku avstrijske specialke v merilu 1 : 75.000, ponatisnjene leta 1914. Relief je prikazan s črticami, ki so narisane med stometrskimi plastnicami.

**Plastične** ali **prostorske metode** prikazovanja reliefa dajejo vtis trirazsežnosti reliefnih oblik s premišljeno uporabo barvnih in črno-belih odtenkov ter črtic in pikic oziroma treh razsežnostih, ki jih imajo barve: barvnosti, svetlosti in nasičenosti (Dent 1996; Fridl 1999).

Metoda **višinskih ali hipsometričnih plasti** sloni na različni obarvanosti slojev med dvema plastnicama. Znanstveno jo je leta 1804 utemeljil nemški naravoslovec Alexander von Humboldt (1769–1859). Leta 1806 je nemški geograf Carl Ritter (1779–1859) pripravil zemljevid Evrope s črno-belimi višinskimi plastmi, dve leti kasneje pa je prav tako nemški geograf Johann August Zeune (1778–1853) izdelal zemljevid sveta, prvi zemljevid, na katerem so bile višinske plasti prikazane v barvah. Leta 1830 je Avstrijec Franz von Hauslab (1798–1883) izdelal teorijo o barvnih višinskih plasteh, istega leta pa je Danec Oluf Nicolai Olsen (1794–1848) izdelal hipsometrično karto Evrope. Leta 1835 je švedski topograf in statistik Carl Gustav af Forsell (1783–1848) z metodo višinskih plasti pripravil zemljevid južne Skandinavije v merilu 1 : 500.000 (Wilhelmy 1996).

Prikaz reliefa z metodo višinskih plasti je primeren predvsem za zemljevide v manjših merilih. Uveljavil se je zlasti z razmahom litografije, ki jo je v letih 1796 in 1797 razvil Alois Senefelder (1771–1834) in je olajšala uporabo poltonov in barv v tiskarstvu. Litografija je prevladovala pri tiskanju zemljevidov med sredino 19. in sredino 20. stoletja.

**Metoda senc** prikazuje relief s spreminjanjem razsežnosti, običajno svetlosti barv, predvsem črno-belih, sivih odtenkov. Svetlost vsake točke na zemljevidu je odvisna predvsem od smeri, iz katere prihaja svetloba, in od kota, pod katerim svetloba pada na površino. Senčenje se je na rokopisnih zemljevidih za predstavljanje reliefa uporabljalo že v 18. stoletju, na tiskanih zemljevidih pa se je začelo uporabljati šele v 19. stoletju z uveljavljanjem litografije. Leta 1826 je avstrijski general Franz von Hauslab (1798–1883) pripravil prvo poglobljeno predstavitev metode senc (Peterca s sodelavci 1974), leta 1838 pa njegov rojak Constantin Desjardins prvi tiskani zemljevid s senčenjem (Wilhelmy 1996).

V klasični kartografiji je bilo senčenje ena izmed najzahtevnejših in strogo specializiranih risarskih tehnik, ki jo je z mnogo truda in vaje ter s sposobnostjo prostorske predstave lahko opravljala le peščica izurjenih kartografov (Radovan 1992), v sodobni digitalni kartografiji pa senčenje močno olajša uporaba računalnikov.

**Metodo pikic** je prvi uporabil nemški geograf in kartograf Max Eckert Greifendorff (1868–1938) v svojem šolskem atlasu, ki je izšel leta 1898. Leta 1921 je objavil še njene matematične temelje, ki slonijo na razmerju med črnimi in belimi pikicami. Čeprav je šolski atlas doživel več kot sedemdeset izdaj (Peterca s sodelavci 1974), se zaradi zamudnosti risanja pikic različnih razsežnosti njegova metoda v praksi ni uveljavila.

**Metodo črtic** je za prikaz razgibanosti površja prvi uporabil Johannes Andreas Rauh leta 1616 (Witt 1979) oziroma leta 1617 (Wilhelmy 1996) za zemljevid območja Wangen in Lindau, znanstveno pa jih je utemeljil predvsem saški major Johann Georg Lehmann (1765–1811) s študijo iz leta 1799. Črtice so narisane v smeri največjega zniževanja površja, torej pravokotno na izohipse. Z debelino in dolžino izražajo naklon površja, z lego in razporeditvijo pa nakazujejo reliefne oblike. Ker Lehmann ni dal navodil o dolžini črtic, so jih najpogosteje risali med dvema sosednjima izohipsama. Kljub slabostim se je ta metoda na zemljevidih uporabljala do srede 19. stoletja.

Z metodo črtic je relief prikazan tudi na izjemno pomembnem Jožefinskem vojaškem zemljevidu (Mihevc 1998), kar je velik napredek glede na starejše zemljevide (slika 7). Izdelali so ga v dveh barvnih primerkih, izvirniku in prerisu, med letoma 1763 in 1787. Območje današnje Slovenije pokriva 110 listov, večinoma v merilu 1 : 28.000.

Prava mojstrovina je topografska karta Švice v merilu 1 : 100.000, ki jo je med letoma 1842 in 1865 (Peterca s sodelavci 1974) oziroma med letoma 1844 in 1863 (Wilhelmy 1996) izdelal Guillaume Henri Dufour (1787–1875), lep primer upodobitve reliefa s črticami pa je tudi avstro-ogrška topografska karta v merilu 1 : 75.000 (slika 8), ki je izhajala med letoma 1873 in 1888 (Peterca s sodelavci 1974).

Isti zemljevid (slika 8) je tudi primer **kombinirane metode** plastnic in črtic, ki je bila pogostejša v preteklosti, danes pa je na zemljevidih v velikih merilih pogostejša kombinacija plastnic in senc, na

zemljevidih v manjših merilih pa kombinacija višinskih plasti in senc. Tudi v večini atlasov, ki so izšli pri nas na prelomu tisočletja, je relief prikazan z višinskimi plastmi in senčenjem. Cilj kombiniranih metod za prikazovanje reliefa je predvsem čim bolj izkoristiti dobre lastnosti posameznih metod oziroma zmanjšati njihove slabosti.

Celovit pregled spreminjanja načinov prikaza reliefnih elementov na 58 zemljevidih slovenskega ozemlja analizira Primož Gašperič v svojem doktorskem delu *Razvoj metod prikaza kartografskih elementov na starih zemljevidih ozemlja Slovenije* (2016).

## 5 Lidar

V zbirki GIS v Sloveniji lahko pri reliefnih podatkih sledimo predvsem razvoju digitalnega modela višin, ki ga v zadnjih letih nadgrajujejo podatki zračnega laserskega skeniranja ALS (angl. *airborne laser scanning*) oziroma lidarja (angl. *light detection and ranging*). Veliko zvemo o sami metodi, pa tudi o uporabnosti lidarskih podatkov na več področjih, na primer v gozdarstvu (Šturm s sodelavci 2016), arheologiji (Štular in Lozić 2016), geodeziji (Triglav Čekada, Mesner in Barborič 2016), jamarstvu (Čekada in Gostinčar 2016) in vodarstvu (Petrovič s sodelavci 2016; Mišič 2016).

Lasersko skeniranje Slovenije in 250-metrskega čezmejnega pasu (21.268 km<sup>2</sup>) se je končalo 2. 4. 2015. Med drugim ponuja 1-metrski digitalni model višin in analitično senčenje, kar je zelo uporabno za najrazličnejše vizualne prikaze in kot kartografska podlaga (Pegan Žvokelj, Bric in Triglav Čekada 2014).

Lidarski podatki se uporabljajo v najrazličnejše namene, na primer za izdelavo zemljevidov poplavne varnosti, pri spremljanju sprememb v okolju, v prostorskem načrtovanju, energetiki, arheologiji, kmetijstvu in gozdarstvu (Šturm s sodelavci 2016). Na sliki je primer uporabe lidarskih podatkov za predstavitev terasirane sredozemske pokrajine okrog Krkavč (sliki 9 in 10) iz knjige *Terasirane pokrajine*, ki jo je Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU izdal ob sedemdesetletnici ustanovitve (Perko, Ciglič in Geršič 2016)

Poleg slovenskih podatkov laserskega skeniranja (LIDAR 2016) je na voljo čedalje večja zbirka podatkov tudi za druge države, na primer Nizozemsko (Actueel ... 2016), Finsko (National ... 2016) in Švico (Federal Office ... 2016), na številnih spletnih straneh pa so na voljo lidarski podatki z raznih koncev sveta, predvsem Severne Amerike, na primer spletna stran Open Topography (Open Topography 2016), spletna stran Earthexplorer (USGS Earthexplorer 2016), spletna stran Lidar Online (Lidar Online 2016), spletna stran United States Interagency Elevation Inventory (United ... 2016) in spletna stran NOAA Digital Coast (NOAA ... 2016).

## 6 Sklep

Relief oziroma oblikovanost površja je ena najbolj pogostih tem v zbirki GIS v Sloveniji. Avtorji so relief obravnavali kot sestavino pokrajine, predvsem geografi, kot sestavino zemljevida, predvsem kartografi, večina pa seveda predvsem kot sloj geografskega informacijskega sistema.

Vse boljša tehnologija za zajem in hranjenje podatkov omogoča izboljšanje natančnosti prostorskih podatkov, kar dokazujejo tudi vedno bolj natančni podatki o reliefu, ki so na voljo za različne države in posamezna manjša območja. Metoda laserskega skeniranja je še razširila uporabnost reliefnih podatkov. Tako o lidarskih podatkih govori kar tretjina prispevkov v 13. knjigi zbirke GIS v Sloveniji z najrazličnejših področij.

*Slika 9: Panoramski pogled na Krkavče z zaselkom Sveti Maver v ospredju z jugozahoda. ► (str. 22)*

*Slika 10: Prikaz območja naselja Krkavče z lidarskimi podatki. ► (str. 23)*



MATEVŽ LENARČIČ





Bolj natančni podatki omogočajo tudi bolj zanesljive analize. Vendar pa reliefni podatki niso pomembni zgolj v analitičnem smislu, temveč tudi v vizualnem, kar kaže predvsem razvoj prikaza reliefa kot sestavine zemljevida od najstarejših do najsodobnejših zemljevidov.

## 7 Viri in literatura

- Actueel Hoogtebestand Nederland. Medmrežje: <http://www.ahn.nl/index.html> (1. 6. 2016).
- Ahnert, F. 1998: Introduction to Geomorphology. London.
- Allaby, A., Allaby, M. 1996: The concise Oxford dictionary of Earth sciences. Oxford, New York.
- Bunc, S. 1981: Slovar tujk. Maribor.
- Cambridge international dictionary of English. Cambridge, 1995.
- Ciglič, R., Perko, D., Zorn, M. 2014: Digitalni prostor, digitalna pokrajina, digitalni prostorski podatki in naravnopokrajinska klasifikacija Slovenije. GIS v Sloveniji 12. Ljubljana.
- Clark, A. N. 1998: The Penguin dictionary of geography. London.
- Čekada, M., Gostinčar, P. 2016: Uporaba lidarja v jamarstvu. GIS v Sloveniji 13. Ljubljana.
- Dent, B. D. 1996: Cartography, Thematic map design. Dubuque.
- Doyle, F. J. 1978: Digital terrain models: An overview. Photogrammetric engineering and remote sensing, Volume 44-12.
- Federal Office of Topography swisstopo. Medmrežje: <http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/en/home.html> (1. 6. 2016).
- Fridl, J. 1999: Metodologija tematske kartografije nacionalnega atlasa Slovenije. Geografija Slovenije 2. Ljubljana.
- Gašperič, P. 2015: Najstarejša kartografija – razvoj do antike. Geografski vestnik 87-2.
- Gašperič, P. 2016: Razvoj metod prikaza kartografskih elementov na starih zemljevidih ozemlja Slovenije. Doktorsko delo, Fakulteta za humanistične študije Univerze na Primorskem. Koper.
- Imhof, E. 1965: Kartographische Geländedarstellung. Berlin.
- James, P., Thorpe, N. 1994: Ancient Inventions. New York.
- Korošec, B. 1978: Naš prostor v času in projekciji. Ljubljana.
- LIDAR. Medmrežje: <http://evode.arso.gov.si/indexd022.html?q=node/12> (1. 6. 2016).
- Lidar Online. Medmrežje: <https://www.lidar-online.com/> (1. 6. 2016).
- Mihevc, B. 1998: Slovenija na starejših zemljevidih. Geografski atlas Slovenije. Ljubljana.
- Mišič, T. 2016: Razvoj metodologije in orodja za izdelavo prilagojene trikotniške mreže batimetrije struge kot podlage za hidravlično modeliranje. GIS v Sloveniji 13. Ljubljana.
- National land survey of Finland. Medmrežje: <http://www.maanmittauslaitos.fi/en> (1. 6. 2016).
- NOAA Digital Coast. Medmrežje: <http://gisgeography.com/top-6-free-lidar-data-sources/> (1. 6. 2016).
- OpenTopography. Medmrežje: <http://www.opentopography.org/> (1. 6. 2016).
- Pegan Žvokelj, B., Bric, V., Triglav Čekada, M. 2014: Lasersko skeniranje Slovenije. Geodetski vestnik 58-2.
- Perko, D. 2001: Analiza površja s stometričnim digitalnim modelom reliefa. Geografija Slovenije 3. Ljubljana.
- Perko, D., Ciglič, R., Geršič, M. (ur.) 2016: Terasirane pokrajine. Ljubljana.
- Perko, D., Zorn, M. 2010a: Geografski informacijski sistemi: pokrajina v računalniku. Geografski vestnik 82-2.
- Perko, D., Zorn, M. 2010b: Zgodovina knjižne zbirke GIS v Sloveniji. GIS v Sloveniji 10. Ljubljana.
- Peterca, M., Radošević, N., Milosavljević, S., Racetin, F. 1974: Kartografija. Beograd.
- Petrovič, D., Dežman Kete, V., Kosmatin Fras, M., Grigillo, D., Kete, P., Mikoš, M. 2016: Podatki o vodah in vodnih zemljiščih v Sloveniji. GIS v Sloveniji 13. Ljubljana.
- Pleteršnik, M. 1895: Slovensko-nemški slovar. Drugi del P–Ž. Ljubljana.
- Radovan, D. 1992: Analično kartografsko senčenje DMR-ja s psevoduslučajnostnimi rastrji. Geodetski vestnik 36-3.

- Rihtaršič, M., Fras, Z. 1991: Digitalni model reliefa. Del 1, Teoretične osnove in uporaba DMR. Ljubljana.
- Robinson, A. H., Morrison, J. L., Muehrcke, P. C., Kimerling, A. J., Guptill, S. C. 1995: Elements of Cartography. New York.
- Slovar slovenskega knjižnega jezika. Ljubljana, 1995.
- Slovar slovenskega knjižnega jezika. Ljubljana, 2005.
- Slovenski pravopis. 1, Pravila. Ljubljana, 1994.
- Snoj, M. 1997: Slovenski etimološki slovar. Ljubljana.
- Smith, C. D. 1987: Cartography in the prehistoric period of the old world: Europe, the Middle East and North Africa. The history of cartography 1: Cartography in prehistoric, ancient, and medieval Europe and Mediterranean. Chicago, London.
- Small, J., Witherick, M. 1996: A modern dictionary of geography. London, Sydney, Auckland.
- Summerfield, M. A. 1991: Global geomorphology: An introduction to the study of landforms. New York.
- Štular, B., Lozić, E. 2016: Primernost podatkov projekta Lasersko skeniranje Slovenije za arheološko interpretacijo: metoda in študijski primer. GIS v Sloveniji 13. Ljubljana.
- Šturm, T., Pisek, R., Kobler, A., Beguš, J., Matijašič, D. 2016: Možnosti uporabe lidarskih podatkov na Zavodu za gozdove Slovenije. GIS v Sloveniji 13. Ljubljana.
- Svoboda, J. A. 2007: Spatial representations in the Upper Paleolithic: The cases from Pavlov and Předmostí. Les expressions intellectuelles et spirituelles des peuples sans écriture. Pariz.
- Thrower, N. J. W. 1996: Maps and civilization. Chicago, London.
- Triglav Čekada, M., Mesner, N., Barborič, B. 2016: Lasersko skeniranje kot vir podatkov za določitev vseh stavb v Sloveniji. GIS v Sloveniji 13. Ljubljana.
- Tyner, J. 1992: Introduction to thematic cartography. Englewood Cliffs.
- United States Interagency Elevation Inventory. Medmrežje: <https://coast.noaa.gov/inventory/> (1. 6. 2016).
- USGS Earthexplorer. Medmrežje: <http://earthexplorer.usgs.gov/> (1. 6. 2016).
- Utrilla, P., Mazo, C., Cruz Sopena, M., Bea, M., Domingo Martinez, R. 2009: A palaeolithic map from 13,660 calBP: Engraved stone blocks from the Late Magdalenian in Abauntz Cave (Navarra, Spain). Journal of human evolution 57-2.
- Verbinc, F. 1979: Slovar tujk. Ljubljana.
- Whittow, J. B. 1986: The Penguin Dictionary of Physical Geography. London.
- Wilhelmy, H. 1996: Kartographie in Stichworten. Zug.



# MORFOMETRIČNE RAZLIKE MED POKRAJINSKIMI VROČIMI IN MRZLIMI TOČKAMI

**dr. Mauro Hrvatin, dr. Drago Perko**

Geografski inštitut Antona Melika, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti  
mauro@zrc-sazu.si, drago@zrc-sazu.si

UDK: 911.52(497.4)

## IZVLEČEK

### **Morfometrične razlike med pokrajinskimi vročimi in mrzlimi točkami**

Na temelju digitalnih podatkov o reliefu, kamninah in rastlinstvu, ki so najpomembnejše sestavine notranje sestave slovenskih pokrajin in hkrati njihove zunanje podobe, smo z uporabo geografskega informacijskega sistema izračunali pokrajinsko raznolikost Slovenije. Območja z visoko pokrajinsko raznolikostjo so pokrajinske vroče točke, območja z nizko pokrajinsko raznolikostjo pa pokrajinske mrzle točke. V prispevku ugotavljamo razlike med vsemi pokrajinskimi vročimi in mrzlimi točkami ter med desetimi najboljšežnejšimi pokrajinskimi vročimi in mrzlimi točkami glede na dvajset morfometričnih kazalnikov.

## KLJUČNE BESEDE

geografija, pokrajinska raznolikost, pokrajinska vroča točka, pokrajinska mrzla točka, morfometrični kazalnik, geografski informacijski sistem, Slovenija

## ABSTRACT

### **Morphometric differences between landscape hotspots and coldspots**

Based on digital data on relief, rock, and vegetation, the most significant elements of the internal structure of Slovenian landscapes and at the same time of their external appearance, a geographic information system was used to calculate landscape diversity of Slovenia. Areas with high landscape diversity are landscape hotspots, while areas with low landscape diversity are landscape coldspots. In the chapter we evaluate the differences between all landscape hotspots and coldspots as well as the differences between the ten most extensive landscape hotspots and coldspots according to twenty morphometric indicators.

## KEY WORDS

geography, landscape diversity, landscape hotspot, landscape coldspot, morphometric indicator, geographic information system, Slovenia

## 1 Uvod

V aplikativnem projektu Pokrajinska raznolikost in vroče točke Slovenije (L6-6852), ki ga sofinancirata Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije in Slovenska akademija znanosti in umetnosti, smo z geografskim informacijskim sistemom na temelju digitalnih podatkov o reliefu, kamninah in rastlinstvu izračunali pokrajinsko raznolikost Slovenije. Območja z visoko pokrajinsko raznolikostjo so pokrajinske vroče točke, območja z nizko pokrajinsko raznolikostjo pa pokrajinske mrzle točke (Perko, Ciglič in Hrvatin 2017).

Kot vroče točke smo opredelili desetino Slovenije z najvišjo pokrajinsko raznolikostjo, kot mrzle točke pa desetino Slovenije z najnižjo pokrajinsko raznolikostjo.

Ena od nalog projekta je tudi ugotavljanje razlik med pokrajinskimi vročimi in mrzlimi točkami glede na posamezne kazalnike naravnih in družbenih prvin pokrajine. Ker je relief najpomembnejša sestavina notranje sestave in zunanje podobe večine slovenskih pokrajin, še posebno pozornost namenjamo reliefnim kazalnikom.

V tem prispevku prikazujemo razlike med vsemi pokrajinskimi vročimi in mrzlimi točkami ter med desetimi najboljšežnjimi pokrajinskimi vročimi in mrzlimi točkami glede na dvajset morfometričnih, torej reliefnih kazalnikov.

## 2 Metode dela

Zemeljsko površje je sestavljeno iz množice ploskev. V okviru geografskega informacijskega sistema lahko na temelju digitalnega modela reliefa ugotavljamo geometrične lastnosti teh ploskev in prostorsko spreminjanje njihovih geometričnih lastnosti, kar je pomembna objektivna kvantitativna metoda pri proučevanju izoblikovanosti površja (Perko 2002). V tuji literaturi obstaja več preglednih predstavitev morfometričnih kazalnikov (Moore, Grayson in Ladson 1991; Wilson in Gallant 2000; Shary, Sharaya in Mitusov 2002; Pike, Evans in Hengl 2009; Wilson 2012).

V tem prispevku smo upoštevali dvajset morfometričnih kazalnikov (Hrvatin 2016). Temeljijo na petindvajsetmeterskem digitalnem modelu višin, ki nudi kar 32.436.693 celic z osnovnico 25 m in površino 6,25 ara. Pripravili smo jih z različnimi programi in orodji geografskega informacijskega sistema (ArcGIS, Idrisi, TAS). Pri njihovi izbiri smo pazili, da kar najboljše zajemajo in predstavljajo izoblikovanost površja ter da se medsebojno ne podvajajo. Nekatere kazalnike, na primer naklon, ekspozicijo in različne ukrivljenosti površja, smo izračunali neposredno v okvirih ustreznih programskih modulov, ostale morfometrične kazalnike, na primer teksturo in skupni koeficient razgibanosti površja ter topografski pozicijski indeks, pa posredno prek dodatnih, vmesnih podatkovnih slojev. Ker je za pokrajinsko raznolikost pomembno prostorsko spreminjanje geometričnih lastnosti ploskev, smo vključili tudi šest kazalnikov, ki predstavljajo standardni odklon temeljnih morfometričnih kazalnikov: višine, naklona, ekspozicije in treh različnih ukrivljenosti površja.

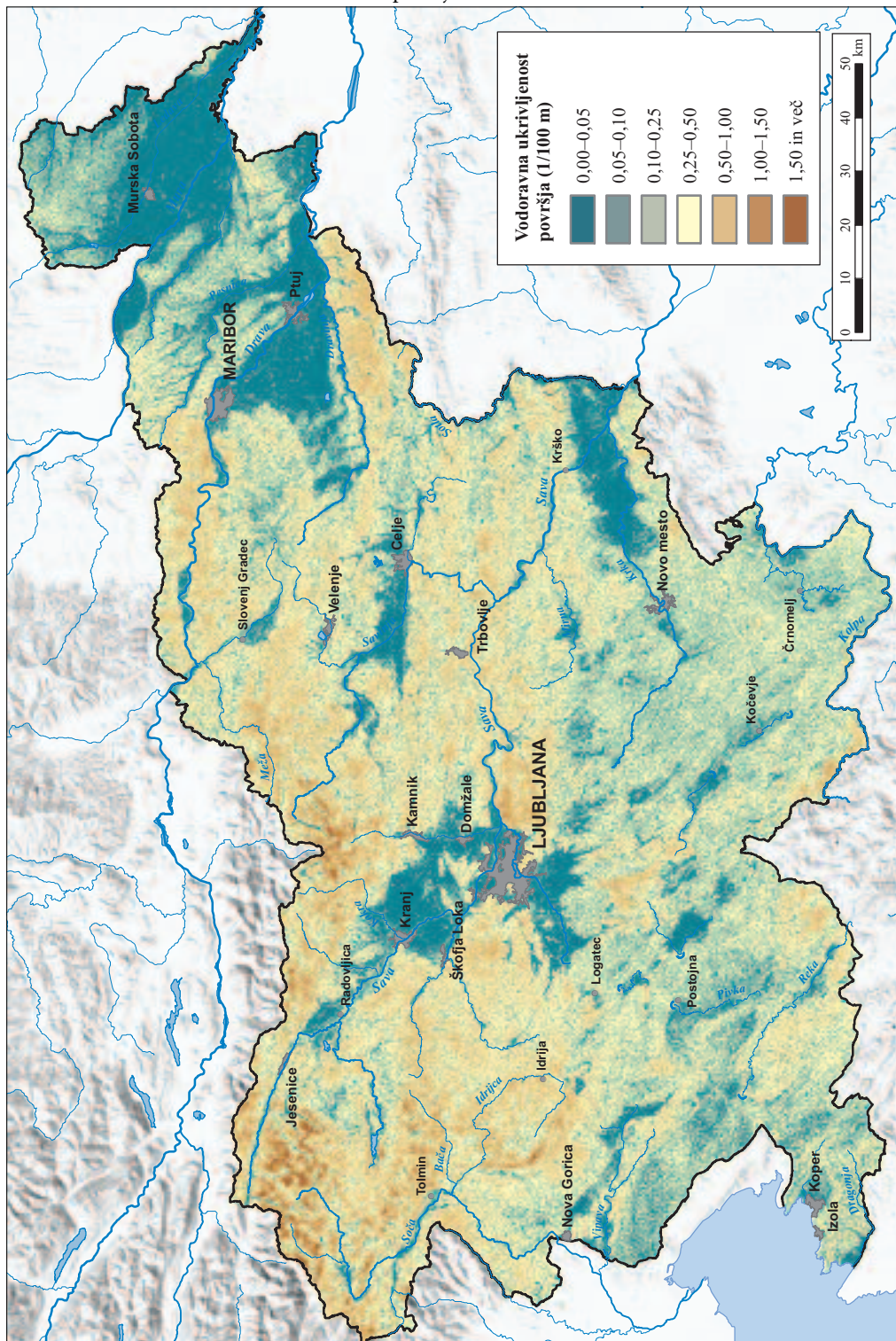
Upoštevani morfometrični kazalniki so:

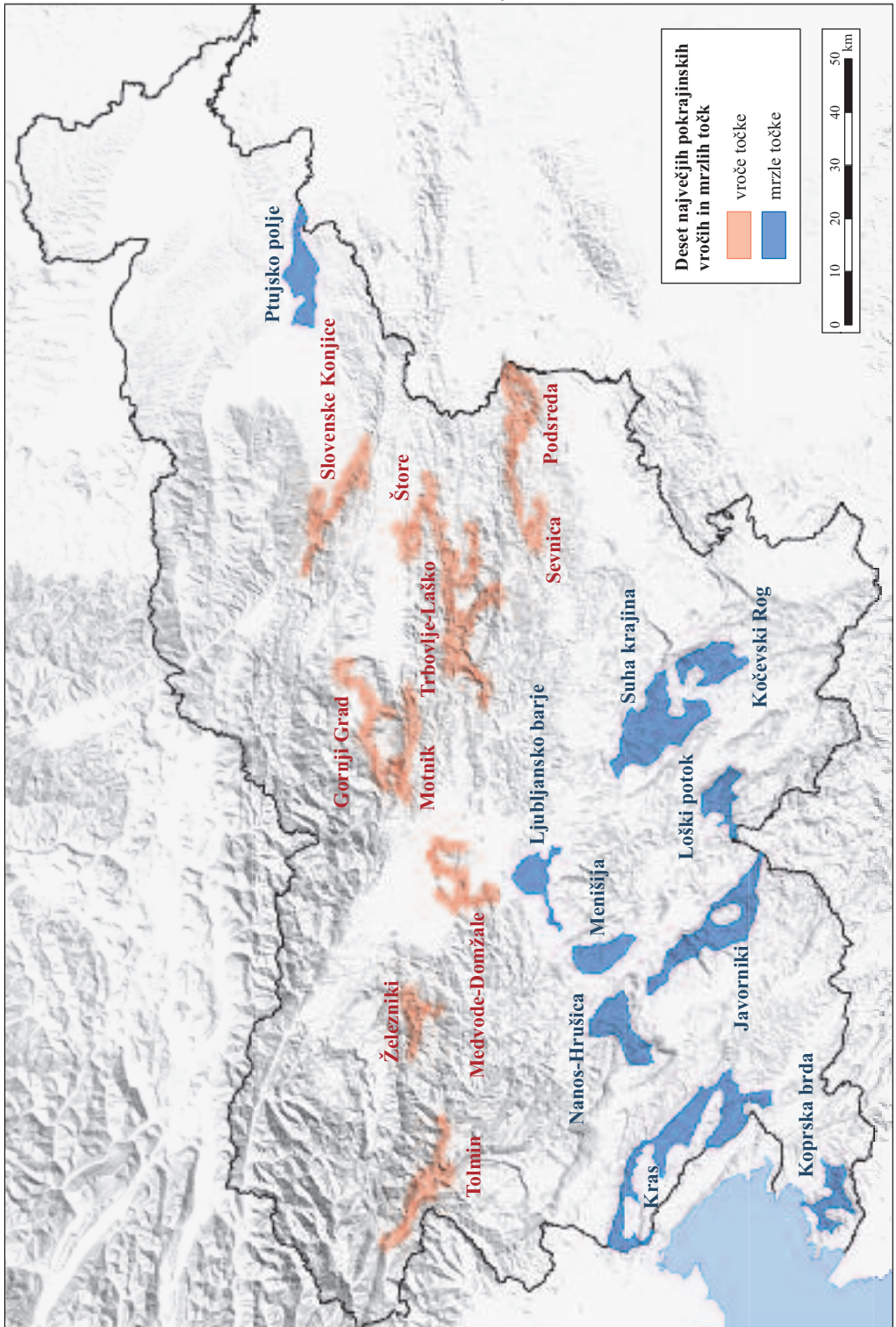
- višina površja,
- naklon površja,
- ekspozicija površja,
- ukrivljenost površja,
- navpična ukrivljenost površja,
- vodoravna ukrivljenost površja (slika 1),

*Slika 1: Morfometrični kazalnik vodoravna ukrivljenost površja. ►*

*Slika 2: Lega 10 največjih območij s pokrajinskimi vročimi točkami (rdeče) in mrzlimi točkami (modro). ► (str. 30)*

Morfometrične razlike med pokrajinskimi vročimi in mrzlimi točkami





- standardni odklon višine površja,
- standardni odklon naklona površja,
- standardni odklon ekspozicije površja,
- standardni odklon ukrivljenosti površja,
- standardni odklon navpične ukrivljenosti površja,
- standardni odklon vodoravne ukrivljenosti površja,
- skupni koeficient razgibanosti površja,
- tekstura površja,
- indeks ukrivljenosti površja,
- višinsko razmerje površja,
- topografski pozicijski indeks,
- indeks vlažnosti,
- indeks moči vodnega toka in
- indeks zmogljivosti prenosa usedlin.

V okviru geografskega informacijskega sistema smo za vse vroče in mrzle točke ter za deset največjih vročih in mrzlih točk določili za vsak morfometrični kazalnik posebej najnižjo vrednost, najvišjo vrednost, aritmetično sredino in standardni odklon. Iz pridobljenih podatkov smo izračunali še razmik med najnižjo in najvišjo vrednostjo, varianco, koeficient variacije, umerjeni koeficient variacije, razmerje med koeficientom variacije in površino vročih in mrzlih točk ter razmerje med umerjenim koeficientom variacije in površino vročih in mrzlih točk.

Območja desetih največjih vročih točk smo poimenovali po najbližjem večjem kraju (slika 2):

- Trbovlje–Laško,
- Tolmin,
- Podsreda,
- Slovenske Konjice,
- Medvode–Domžale,
- Motnik,
- Štore,
- Gornji Grad,
- Železniki,
- Sevnica.

Podobno smo območja desetih največjih mrzlih točk poimenovali po pokrajini, kjer ležijo (slika 2):

- Kras,
- Suha krajina,
- Javorniki,
- Nanos–Hrušica,
- Ptujsko polje,
- Kočevski rog,
- Menišija,
- Ljubljansko barje,
- Loški potok,
- Koprsko brda.

### 3 Primerjava

Primerjava območij pokrajinskih vročih in mrzlih točk sloni na umerjenem koeficientu variacije morfometričnih kazalnikov (Perko 2007).



Koeficient variacije je s 100 pomnoženo razmerje med standardnim odklonom izbranih celic in aritmetično sredino teh celic, umerjeni koeficient variacije pa s 100 pomnoženo razmerje med standardnim odklonom izbranih celih in aritmetično sredino vseh celic.

Koeficient variacije morfometričnih kazalnikov območij vročih točk je torej s 100 pomnoženo razmerje med standardnim odklonom območij vročih točk in aritmetično sredino območja Slovenije, koeficient variacije morfometričnih kazalnikov območij mrzlih točk pa s 100 pomnoženo razmerje med standardnim odklonom območij mrzlih točk in aritmetično sredino območja Slovenije.

Ker so vroče točke pokrajinsko bolj raznolike od mrzlih točk, bi glede na povezanost pokrajinskih sestavin pričakovali, da so tudi umerjeni koeficienti variacije morfometričnih kazalnikov pri vročih točkah višji kot pri mrzlih točkah.

Primerjava vseh vročih in mrzlih točk (preglednica 1) tega ne potrjuje v celoti, saj je umerjeni koeficient variacije petih morfometričnih kazalnikov višji pri mrzlih in ne vročih točkah: višina površja za 21 %, standardni odklon ekspozicije površja za 11 %, indeks moči vodnega toka za 7 %, indeks vlažnosti za 6 % in tekstura površja za 2 %. Na to deloma vpliva dejstvo, da je površina mrzlih točk za 7 % večja od površine vročih točk, večja površina pa teoretično pomeni večjo možnost za variabilnost.

Največja razlika je pri morfometričnem kazalniku standardni odklon višine površja, ki je pri vročih točkah kar 45 % višji kot pri mrzlih točkah, in pri morfometričnem kazalniku navpična ukrivljenost površja, ki je pri vročih točkah višji za 41 %.

Najvišji umerjeni koeficient variacije ima pri vročih točkah morfometrični kazalnik vodoravna ukrivljenost površja s 139,66 (zato je kot primer enega od morfometričnih kazalnikov prikazan na sliki 1), enako pri mrzlih točkah s 102,29, najnižji umerjeni koeficient variacije pa pri vročih točkah morfo-

*Preglednica 1: Umerjeni koeficient variacije morfometričnih kazalnikov za območja s pokrajinskimi vročimi točkami (rdeče) in mrzlimi točkami (modro).*

morfometrični kazalniki	pokrajinske vroče točke	pokrajinske mrzle točke	indeks
višina površja	44,8601	54,2535	82,69
naklon površja	82,0108	61,1805	134,05
ekspozicija površja	80,7741	80,6704	100,13
ukrivljenost površja	126,3862	94,3743	133,92
navpična ukrivljenost površja	134,1034	95,1901	140,88
vodoravna ukrivljenost površja	139,6548	102,2869	136,53
standardni odklon višine površja	82,7404	57,2399	144,55
standardni odklon naklona površja	66,5909	52,2427	127,46
standardni odklon ekspozicije površja	59,5599	66,1991	89,97
standardni odklon ukrivljenosti površja	66,5942	54,3444	122,54
standardni odklon navpične ukrivljenosti površja	67,9251	53,0115	128,13
standardni odklon vodoravne ukrivljenosti površja	74,2224	58,7559	126,32
skupni koeficient razgibanosti površja	53,9238	51,9732	103,75
tekstura površja	66,6646	68,1032	97,89
indeks ukrivljenosti površja	119,3572	86,3619	138,21
višinsko razmerje površja	26,5969	24,5655	108,27
topografski pozicijski indeks	117,1371	84,3291	138,90
indeks vlažnosti	26,2578	27,7850	94,50
indeks moči vodnega toka	47,2251	50,7067	93,13
indeks zmogljivosti prenosa usedlin	65,1138	62,9370	103,46

metrični kazalnik indeks vlažnosti s 26,26 in pri mrzlih točkah morfometrični kazalnik višinsko razmerje površja s 24,57.

Drugače je pri primerjavi desetih največjih vročih točk in desetih največjih mrzlih točk, saj so vsi umerjeni koeficienti morfometričnih kazalnikov pri vročih točkah večji kot pri mrzlih točkah, pri devetih kazalnikih približno dvakrat večji, samo pri morfometričnem kazalniku višinsko razmerje je razlika majhna, komaj dober odstotek.

Največja razlika je pri morfometričnem kazalniku standardni odklon vodoravne ukrivljenosti površja, ki je pri vročih točkah kar 117 % višji kot pri mrzlih točkah, in pri morfometričnem kazalniku standardni odklon višine površja, ki je pri vročih točkah višji za 113 %.

Najvišji umerjeni koeficient variacije ima pri vročih točkah morfometrični kazalnik vodoravna ukrivljenost površja s 135,21 in pri mrzlih točkah morfometrični kazalnik navpična ukrivljenost površja s 75,34, najnižji umerjeni koeficient variacije pa pri vročih točkah morfometrični kazalnik višina površja s 23,55, enako pri mrzlih točkah s 14,99.

Med desetimi največjimi območji vročih točk imata najvišji povprečni umerjeni koeficient vseh dvajsetih morfometričnih kazalnikov alpski območji Tolmin s 74,70 in Železniki s 67,30, med desetimi največjimi območji mrzlih točk pa imata izrazito najnižji povprečni umerjeni koeficient vseh dvajsetih morfometričnih kazalnikov panonsko območje Ptujsko polje z 10,42 in dinarsko območje Ljubljansko barje s 15,92.

Razlika med prvim in desetim območjem vročih točk je 31 %, med prvim in desetim območjem mrzlih točk več kot petkratna, med desetim območjem vročih točk in prvim območjem mrzlih točk 7 %, med prvim območjem vročih točk in zadnjim območjem mrzlih točk pa kar več kot sedemkratna (preglednica 2).

*Preglednica 2: Geometrična sredina vseh 20 morfometričnih kazalnikov za 10 največjih območij s pokrajinskimi vročimi točkami (rdeče) in mrzlimi točkami (modro).*

območja vročih in mrzlih točk	površina (km <sup>2</sup> )	geometrična sredina
Trbovlje–Laško	124,53	0,6489
Tolmin	65,49	0,7470
Podsreda	65,01	0,5885
Slovenske Konjice	64,89	0,6217
Medvode–Domžale	58,41	0,5767
Motnik	55,20	0,6186
Štore	48,23	0,5918
Gornji Grad	48,12	0,6377
Železniki	33,89	0,6730
Sevnica	25,24	0,5694
Kras	161,87	0,3961
Suha krajina	147,21	0,3786
Javorniki	116,76	0,4330
Nanos–Hrušica	73,38	0,4566
Ptujsko polje	65,44	0,1042
Kočevski rog	59,09	0,3924
Menišija	48,93	0,4198
Ljubljansko barje	42,75	0,1592
Loški potok	41,56	0,4679
Koprsko brda	41,19	0,5337

Od desetih območij z vročimi točkami šest območij leži v alpskem svetu ter štiri območja na stiku alpskega in panonskega sveta, od desetih območij z mrzlimi točkami pa sedem območij v dinarskem svetu, dve območji v sredozemskem svetu in eno območje v panonskem svetu.

## 4 Sklep

Rezultati kažejo, da so pri primerjavi desetih največjih vročih točk in desetih največjih mrzlih točk vsi umerjeni koeficienti morfometričnih kazalnikov pri vročih točkah večji kot pri mrzlih točkah, pri primerjavi vseh vročih in mrzlih točk pa skoraj vsi. To pomeni, da tudi bolj analizni kazalniki potrjujejo, da so območja vročih točk bolj raznolika od območij mrzlih točk, ki so sicer določena na temelju bolj sinteznih kazalnikov, to so reliefni, litološki in vegetacijski tipi (Perko, Ciglič in Hrvatin 2017).

V splošnem je najbolj pokrajinsko raznolika alpska Slovenija, kjer leži kar 69 % vseh območij z vročimi točkami. V panonski Sloveniji jih je 15 %, v dinarski Sloveniji 13 %, v sredozemski Sloveniji pa samo 3 %. Od desetih največjih območij z vročimi točkami jih šest leži v alpski Sloveniji. Med deseterico največjih območij z vročimi točkami ima najvišji povprečni umerjeni koeficient vseh dvajsetih morfometričnih kazalnikov alpsko območje Tolmin.

Najmanj pokrajinsko raznolika je dinarska Slovenija, kjer leži 47 % vseh območij z mrzlimi točkami. V sredozemski Sloveniji jih je 19 %, v panonski Sloveniji 18 %, v alpski Sloveniji pa 16 %. Od desetih največjih območij z mrzlimi točkami jih sedem leži v dinarski Sloveniji. Med deseterico največjih območij z mrzlimi točkami ima najnižji povprečni umerjeni koeficient vseh dvajsetih morfometričnih kazalnikov panonsko območje Ptujsko polje.

## 5 Viri in literatura

- Hrvatin, M. 2016: Morfometrične značilnosti površja na različnih kamninah v Sloveniji. Doktorska disertacija, Fakulteta za humanistične študije Univerze na Primorskem. Koper.
- Moore, I. D., Grayson, R. B., Ladson, A. R. 1991: Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological processes* 5.
- Perko, D. 2002: Določanje vodoravne in navpične razgibanosti površja z digitalnim modelom višin. *Geografski vestnik* 74-2.
- Perko, D. 2007: Morfometrija površja Slovenije. *Georitem* 3. Ljubljana.
- Perko, D., Ciglič, R., Hrvatin, M. 2017: Determination of landscape hotspots of Slovenia. *Acta geographica Slovenica* 57-1. DOI: <http://dx.doi.org/10.3986/AGS.4618>
- Pike, R. J., Evans, I. S., Hengl, T. 2009: *Geomorphometry: a brief guide. Geomorphometry: concepts, software, applications.* Amsterdam.
- Shary, P. A., Sharaya, L. S., Mitusov, A. V. 2002: Fundamental quantitative methods of land surface analysis. *Geoderma* 107, 1-2.
- Wilson, J. P. 2012: Digital Terrain Modelling. *Geomorphology* 137. DOI: 10.1016/j.geomorph.2011.03.012
- Wilson, J. P., Gallant, J. C. 2000: *Digital terrain analysis. Terrain analysis: principles and applications.* New York.

## UPORABA LIDARJA V JAMARSTVU

**dr. Miha Čekada**

Jamarska zveza Slovenije  
mihacekada@yahoo.com

**Petra Gostinčar**

Inštitut za raziskovanje krasa, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti  
petra.gostincar@zrc-sazu.si

UDK: 911.2:551.44(497.4)

528.8.044.6:551.44(497.4)

### IZVLEČEK

#### **Uporaba lidarja v jamarstvu**

V prispevku so predstavljene možnosti uporabe javno dostopnih podatkov Laserskega skeniranja Slovenije (lidarskih podatkov) na področju jamarstva. Ena glavnih pomanjkljivosti obstoječe zbirke Katastra jam, ki obsega čez 11.000 registriranih jam v Sloveniji, so nenatančno določene lege vhodov v jame. Srednje velika brezna je mogoče prepoznati iz lidarskega DMR1, ki je na voljo na spletnem portalu eVode. Pri ožjih brezni, manjših horizontalnih vhodih in gostejšemu rastju je prepoznavanje jam zahtevnejše, zato je nujna uporaba georeferenciranega klasificiranega oblaka točk. Slednji je uporaben tudi pri večjih brezni in udornicah, ki doslej večinoma niso bili natančneje izmerjeni. Lidarski podatki so primerni za določanje ali popravljanje lege jam, izmero velikih vhodov v jame, preverjanje natančnosti že izrisanih jamskih načrtov, analizo podatkov o udornicah ter za pravilno določitev nadmorske višine izhodiščnih točk za kalibracijo jamskega poligona.

### KLJUČNE BESEDE

Lidar, jame, kras, udornica, vhodno brezno, jamarstvo

### ABSTRACT

#### **Application of lidar in caving**

In this paper we present the possibilities of the publicly available laser scanning data (lidar) of Slovenia for use in caving. One of the main shortcomings of the existing Slovenian Cave registry data, containing over 11,000 caves, is in poor accuracy of the cave entrance coordinates. Mid-sized pits can now easily be identified in the lidar DEM1 which is available at the web portal eVode. In narrow pits, smaller horizontal entrances or in the case of thicker vegetation the cave identification is more demanding, and the use of the georeferenced classified point cloud is a must. The latter is also useful in larger pits and collapse dolines, which so far have mostly not been properly measured. The lidar data is useful for cave location determination or correction, measurement of large cave entrances, evaluation of existing survey accuracy, analysis of collapse doline morphometric data and precise determination of altitude for calibration of cave polygon starting point.

### KEY WORDS

lidar DEM, caves, karst, collapse doline, entrance pit, caving

## 1 Uvod

Ena od osrednjih naravnogeografskih značilnosti Slovenije je njen kraški relief, saj karbonatne kamnine sestavljajo 43 % površja Slovenije (Gams 2003). Najbolj prepoznavna značilnost krasa so, poleg značilnih površinskih reliefnih oblik, podpovršinske oblike – jame.

Predpogoj za kakovostno preučitev jam (na primer z gledišča geomorfologije, arheologije, speleobiologije) je zanesljiva zbirka podatkov o jamah. Takšno podatkovno bazo v Sloveniji že skoraj sto let zagotavlja Kataster jam, v katerem je uveljavljen standardiziran sistem zbiranja in urejanja podatkov o vseh znanih jamah v Sloveniji. Skupaj ga vodita Jamarska zveza Slovenije in Inštitut za raziskovanje krasa Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti. Definicija jame po Katastru jam je »naravna votlina z dolžino ali globino človeku prehodnih rovov najmanj deset metrov«. V Katastru jam je trenutno registriranih 11.475 jam (stanje januar 2016), letni prirastek pa je okoli 250 no-woodkritih jam (Čekada 2015).

Značilnost Katastra jam je v tem, da večinoma sloni na amaterskem delu jamarjev, ki jamo odkrijejo, izmerijo in dokumentirajo. To delo vključuje le osnovne pripomočke (kompas, daljinomer, ročni GPS) in osnovne veščine dokumentiranja jam, pridobljene med jamarskim usposabljanjem. Profesionalna izmera je zaradi visokih stroškov največkrat omejena le na najpomembnejše jame. Za vsako jamo je v zbirko Katastra jam vključen morfološki opis z nekaterimi drugimi opisnimi podatki (na primer geološkimi ali biološkimi značilnostmi) ter jamski načrt. Temelj za uporabnost teh podatkov pa je čim natančneje določena lega vhoda. Natančno določena lega jame je ključnega pomena, saj se podatki Katastra jam uporabljajo pri načrtovanju infrastrukturnih posegov, pri ukrepanju ob jamarskih ali naravnih nesrečah ter pri znanstvenem preučevanju.

V prispevku predstavljamo, kako uporabni so za Kataster jam podatki oziroma rezultati projekta Lasersko skeniranje Slovenije (LSS), ki je bil delno izveden leta 2011, večinoma pa v letih 2014 in 2015 (Triglav Čekada in Bric 2015). Lasersko skeniranje površja je metoda daljinskega pridobivanja podatkov, pri kateri so prostorski podatki zajeti s pomočjo zaznavanja odbojev predhodno oddanih laserskih pulzov. Metoda je poznana tudi po imenu lidar (*Light Detection And Ranging*), ki jo uporabljamo v nadaljnjem besedilu. Rezultat je georeferenciran oblak točk, ki se z naknadno obdelavo klasificira glede na to, od kod se je laserski signal odbil. Na podlagi te klasifikacije se izdelata digitalni model reliefa (DMR) visoke natančnosti – le-ta je odvisna predvsem od gostote odbitih točk (število točk na kvadratni meter). Lidar, v nasprotju z DMR-ji pridobljenimi na podlagi fotogrametričnih postopkov (Triglav Čekada in Zorn 2014), omogoča tudi natančen zajem objektov pod rastjem. S pomočjo teh podatkov lahko tako preučujemo tudi vhodne dele jam, ki so po večini pod rastjem – takšnih je v Sloveniji prek 9000 oziroma približno 80 % vseh jam (Kataster jam 2016; Raba tal 2016).

## 2 Klasično določanje lege jame

Ob odkritju nove jame je ena izmed nalog jamarja določitev koordinat vhoda. V preteklosti je bil v ta namen amaterskemu jamarju na voljo omejen nabor pripomočkov; običajno le relativno grob topografski zemljevid, kompas in meter. Do 60-ih let prejšnjega stoletja so bili jamarjem dostopni le zemljevidi v merilu 1 : 50.000, pozneje 1 : 25.000, medtem ko so zemljevidi TTN postali dosegljivi (dostopni širši javnosti) šele konec 80-ih let. Temu primerno je natančnost leg jam izpred več desetletij v povprečju slaba. Napaka lege velikostnega reda 100 m ni nič neobičajnega, kljub temu pa lahko ponavadi lego rekonstruiramo iz besednega opisa dostopa, kar omogoča naknadni popravek lege s sodobnejšo kartografsko podlago. Natančnost lege je odvisna od zemljevida, ki ga je jamar uporabil za njeno določitev. V bazi Katastra jam je dokumentiranih 1800 popravkov leg jam oziroma njihovih ponovnih izmer na podlagi natančnejših kartografskih podlag. Na podlagi analize teh popravkov je bilo ocenjeno, da je povprečna natančnost določanja vhodov 20 m v naravi oziroma 4 mm na zemljevidu v merilu 1 : 5000

(Čekada 2013). Na terenu lahko to povzroči dolgotrajno iskanje polmetrskega vhoda na gosto poraslem površju. Največ podatkov o jamskih vhodih je ponavadi zapisanih na 10 m natančno (Čekada 2010).

Začetek uporabe GPS-a je v zadnjem desetletju odprl novo poglavje v določanju leg jam. S tem naj bi bile težave rešene, saj proizvajalci komercialnih GPS-sprejemnikov rutinsko navajajo natančnost na nekaj metrov. Vpeljava GPS-a v jamarsko uporabo pa je prinesla tudi nekaj negativnih posledic:

- Natančnost ročnih sprejemnikov, kot jih navaja proizvajalec, velja v idealnih razmerah. Največ jam je v gozdovih, kjer je sprejem precej slabši, kar še posebej velja za razgibano površje s slabšim sprejemom signala satelitov. V grapah ali ob skalnih stenah, kjer se lahko nahajajo tudi jamski vhodi, je GPS komaj uporaben.
- Znana je vrsta primerov napačne uporabe, na primer: uporaba napačnega geodetskega datuma, napačna pretvorba stopinjskih koordinat v Gauss-Krügerjeve, uporaba prve meritve namesto daljšega povprečenja.
- Pretirano zanašanje na številke, ki jih daje sprejemnik, in s tem zanemarjanje vzporednega opisa, ki vizualno opredeljuje jamo v prostoru (na primer opis »ob vznožju južnega roba udornice«).
- Velika občutljivost na drobne napake pri prepisovanju brez možnosti naknadne kontrole.

GPS je pomenil pomemben korak naprej pri določanju leg jam, vendar ne tako velikega, kot bi pričakovali.

V zadnjih letih so poleg topografskih zemljevidov na voljo tudi nekatere druge kartografske podlage, a imajo za jamarstvo omejen pomen. Ortofoto posnetki so na primer koristni v visokogorju, v gozdu pa so večinoma neuporabni. Natančnost različnih DMR-jev (na primer z ločljivostjo  $12,5 \times 12,5$  m ali  $5 \times 5$  m) pa je primerljiva z določanjem s topografskim zemljevidom in je v pomoč le, če so v bližini kakšne izstopajoče reliefne oblike, na primer večje vrtače.

### 3 Metode uporabe lidarja

Lidarski podatki oziroma kakovosten DMR predstavljajo ključno podlago za različne prostorske študije, kjer je potreben čim natančnejši model reliefa; primer tega je preučevanje morfoloških značilnosti kraškega površja. Z lidarskimi podatki lahko na primer preučujemo vpliv geološke podlage na oblikovanost kraškega površja (Zupan Hajna 2015), morfologijo kraških polj (Gostinčar in Ciglič 2015), kraških kotanj – vrtač, udornic (Andrić in Bonacci 2014; Kobal s sodelavci 2014; Zini s sodelavci 2015; Zhu in Pierskalla 2016), brezstropih jam (Mihevc 2016) ter večjih vhodov v jame in brezna. Razen uporabe podatkov terestičnega skeniranja podzemlja, na primer v Škocjanskih jamah (Novaković s sodelavci 2014), literatura uporabe podatkov, pridobljenih z lidarjem, v jamarstvu natančneje ne obravnava. Triglav Čekada (2011) navaja, da potrebujemo za lažje iskanje vhodov v jame ali brezna podatke z večjo gostoto laserskih točk (med 5 in 12 točk/m<sup>2</sup>). Za preučevanje večjih jamskih vhodov je primerena gostota točk v večjem delu države, kjer se je izvajalo skeniranje z gostoto prvih odbojev najmanj 5 točk/m<sup>2</sup>. Območja obsežnejših gozdov, kjer je gostota prvih odbojev najmanj 2 točki/m<sup>2</sup> (Triglav Čekada in Bric 2015), pa so za tovrstne analize manj primerna.

DMR, izdelan na podlagi LSS prikazuje slovensko površje pod rastjem z ločljivostjo 1 m (velikost celice  $1 \times 1$  m, DMR1), s položajno točnostjo boljšo od 30 cm ter višinsko boljšo od 15 cm (Triglav Čekada in Bric 2015). Izdelki LSS so:

- GKOT: georeferenciran in klasificiran oblak točk v zapisu LAS,
- OTR: georeferenciran oblak točk reliefa v zapisu LAS (točke, klasificirane kot tla),
- DMR: digitalni model reliefa, interpolacija reliefa na osnovi točk OTR z velikostjo celice  $1 \times 1$  m (DMR1, v zapisu ASCII),
- PAS: analitično senčenje DMR-ja (v georeferenciranem zapisu TIF) (eVode 2016).

V GKOT-u so točke razdeljene v šest klasifikacijskih razredov: tla, nizko (do 1 m višine), srednje (1–3 m) in visoko rastje (nad 3 m), stavbe ter neklasificirane točke (Triglav Čekada, Bric in Mongus 2015). Poleg teh razredov pa je v izdelkih GKOT še nekaj dodatnih razredov, ki prvenstveno niso namenjeni

končnemu uporabniku, temveč gre za označitev tistih točk, ki so najverjetneje posledica napak. Eden takšnih razredov je »nizka točka« (*low point* ali *low noise* – razred 7 po ASPRS (*The American Society for Photogrammetry & Remote Sensing*, LAS specification 2013)); to so močno izstopajoče točke pod reliefom. Pravilna klasifikacija točk v razrede, predvsem v razred »tla«, je ključnega pomena pri preučevanju površja. DMR1 in PAS sta namreč izdelana le iz točk, ki so bile klasificirane kot tla. Kot se je izkazalo na primeru uporabe lidarja v jamarstvu, deli jamskih vhodov pogosto niso klasificirani kot »tla« in zato na DMR1 pogosto niso vidni. Pri preučevanju jam smo zato večkrat primorani uporabljati georeferenciran in klasificiran oblak točk (GKOT), torej klasificirane, a nefiltrirane podatke.

Za vizualizacijo lidarskih rastrskih podatkov je glede na namen uporabe mogoče uporabljati različne metode in orodja (Kokalj, Zakšek in Oštir 2013). Za analize in vizualizacijo smo uporabili programski orodji *ArcGIS* in *Surfer* ter lidarske podatke, javno dostopne na portalu eVode (eVode 2016).

## 4 Možnosti uporabe lidarja v jamarstvu

Lidarski podatki so primerni za **določanje ali popravljajanje leg jam**. Slika 1 prikazuje primer vhoda v jamo, ki je na DMR1 zlahka prepoznaven, v preteklosti pa je bila lega vhoda že večkrat popravljena z uporabo različnih zemljevidov oziroma GPS-a. Gre za jamo Brezen za Hramom (katastrska številka 1521), ki ima skledast vhod, na vrhu širok šest metrov, ki se zoži v enovito brezno. Za referenco so prikazane tudi starejše določitve lege (vse zaokrožene na 10 m). Načeloma lahko takšen popravek naredimo že na podlagi dokumentacije, brez obiska terena. Zanimivo je, da je »popravek« iz TK-50 v TTN-5 dejansko poslabšal natančnost lege. Odmik lege z GPS-om je le nekaj metrov.

Pogosto pa vhodno brezno ni tako enostavno prepoznavno. Vhod je morda širok le meter ali celo manj, v reliefu v okolici pa ni zaznati nobenega pregiba. Podobne težave se pojavijo v primeru gostega rastja nad vhodnim breznom ali kadar vhodno brezno ni navpično, temveč nekoliko poševno (geometrijsko enak problem je poševen kot snemanja na mestu jame). V kolikor iz brezna ni nobenega laserskega odboja, ga z lidarskimi podatki ne moremo zaznati. Kot bomo pokazali, pa lahko zadošča že en sam odboj, vendar interpretacija ni enostavna.

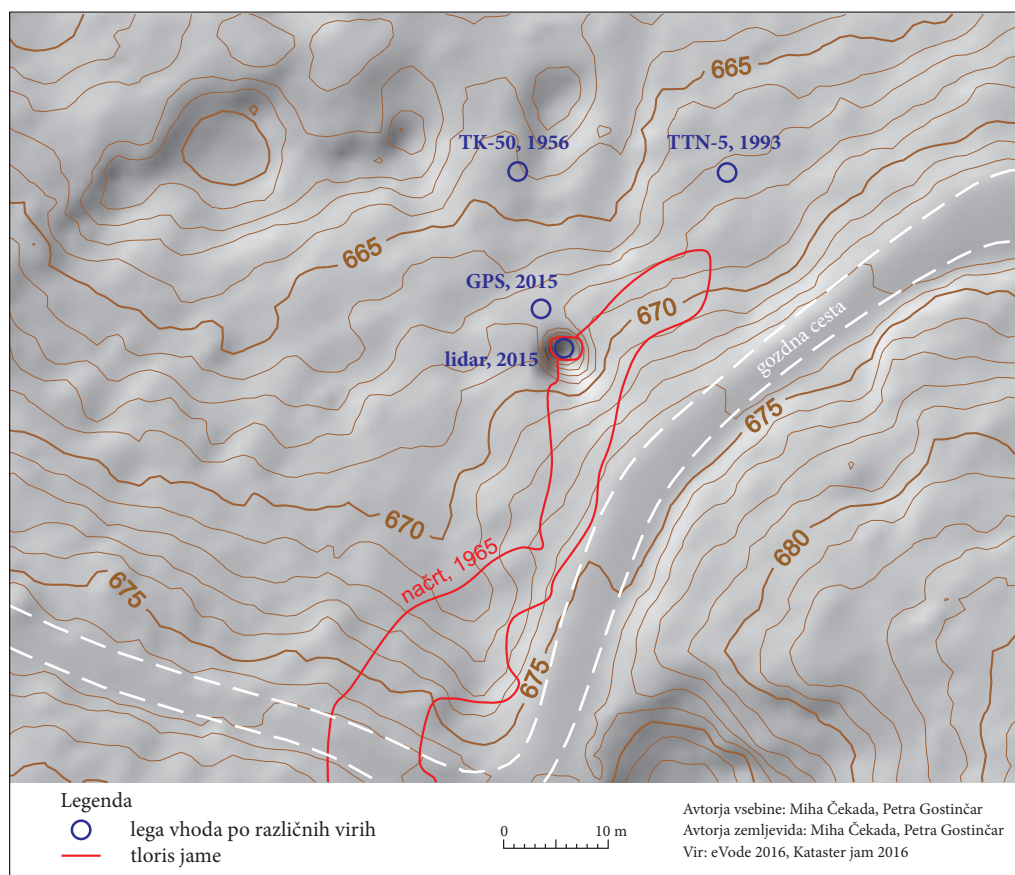
Jama Sapnica, imenovana tudi Mengeško brezno (katastrska številka 2578), je primer brezna z majhnim vhodom, ki ga tudi na terenu težko opazimo. Na DMR1 (slika 2a) jame ni mogoče zaznati. Če iz GKOT (klasifikacijski razred »tla«) izdelamo DMR z velikostjo celice 25 × 25 cm (slika 2b), lahko na mestu vhoda v jamo opazimo drobno kotanjico. Ob dejstvu, da je na zemljevidu še več očitnih artefaktov »*oversamplinga*«, kotanjico težko prepoznamo kot jamo. Slika 2c prikazuje DMR, ki je bil izdelan pri enakih parametrih, le da poleg razreda »tla« vključuje tudi razred »nizka točka« (*low point*). Na mestu prej slabo vidne kotanjice je jasno nakazano brezno. Ugotavljamo, da je na primeru te jame smiselna uporaba podatkov GKOT, in sicer celotnega oblaka točk. Slika 2d kaže prerez ozkega pasu dolžine 25 m prečno na naklon površja. Jasno opazna je kotanjica, posebej pa je treba opozoriti na eno samo točko tri metre pod površjem (označeno s puščico). V nasprotju s preostalim reliefom je le-ta v GKOT klasificirana kot »nizka točka«.

Močno izstopajoče odboje laserskih točk pod površjem je programska oprema, s katero so bili oblaki klasificiranih točk izdelani, najverjetneje zaznala kot napake (na primer dvojni odboji), zato so te točke klasificirane ločeno od površja (Mongus, Triglav Čekada in Žalik 2013). Pri iskanju jam pa lahko prav te točke nakazujejo obstoj brezna. Te točke so iz standardnega digitalnega modela reliefa (DMR1) odfiltrirane, zato ti podatki niso najbolj primerni za iskanje jam. Tudi ni nujno, da en takšen odboj prikazuje jamski vhod, lahko pa v kombinaciji z drugimi opažanji (na primer poznavanje okoliškega reliefa, določena lega z drugimi metodami – na primer GPS-om, izstopajoča neposredna okolica – v našem primeru kotanjica) z dovolj visoko gotovostjo trdimo, da je prav ta izolirana točka odboj iz brezna.

Lidarske podatke lahko uporabljamo tudi za **izmero velikih vhodov** v jame in preverjanje **natančnosti že izrisanih jamskih načrtov** na primeru nekaterih jam z večjim številom vhodov. Kot primer si pogledjmo Zelške jame (katastrska številka 576), ki na površju obsegajo tri velike in več manjših udornic,

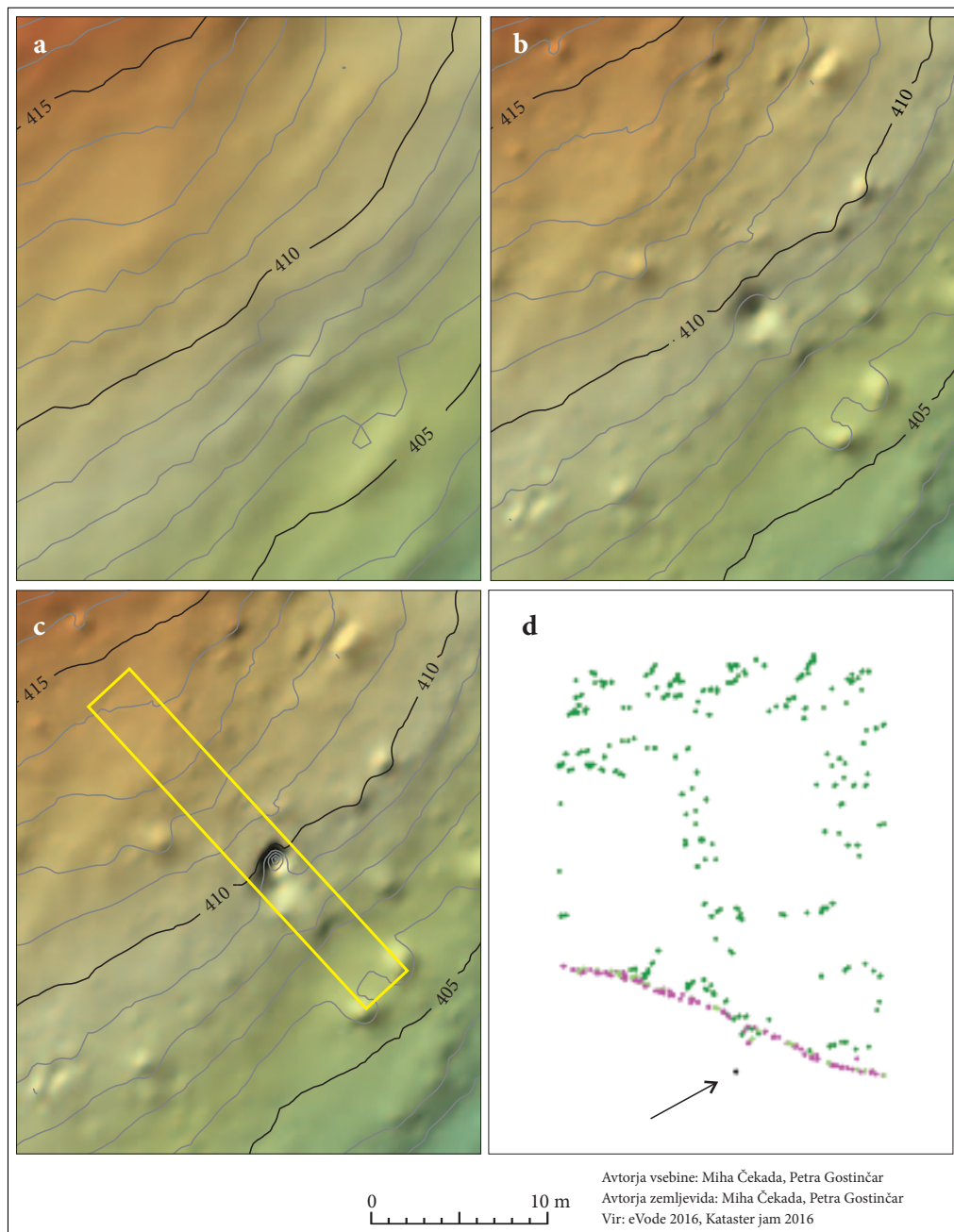
med seboj povezanih s spletom jamskih rogov. Na sliki 3a je obris jam (izmerjeno med letoma 1924–1927; Kataster jam 2016) položen na relief DMR1, izdelan iz GKOT – razreda »tla« in »nizke točke«. Precejšnje neujemanje v obrisu udornice je treba pripisati temu, da načrt jame praviloma prikazuje največjo širino objekta (v tem primeru udornice), lidarski relief pa je omejen le na točke brez skalnega nadkritja. Bolj pa preseneča manjše neujemanje nekaterih značilnih točk jamskega načrta (predvsem brezen) – ti zamiki so označeni z zelenimi puščicami. Do neke mere jih lahko razložimo z neupoštevanjem magnetne deklinacije s strani prvotnih merilcev. Sicer pa smo pri vsakem jamskem načrtu soočeni s seštevanjem napak slepega poligona.

Veliki vhodi v jame, kot so udornice, so v splošnem relativno slabo izmerjeni, saj so na topografskih zemljevidih ponavadi označeni le z generaliziranim simbolom, jamarski načrt pa se tipično začne šele z začetkom jamskega okolja. Lidarski podatki omogočajo, da zapolnimo to vrzel. Na sliki 3b je vzdolžni prerez treh udornic sistema Zelških jam. Enostavno lahko sledimo padcu vodotoka Raka iz vdolž udornice Velike jame, žal pa ne dobimo nobenega odboja z dna sosednjih udornic, s čimer bi na primer lahko izračunali strmec Raka. Zanimiva je napačna klasifikacija dobro poznanega Malega naravnega mosta – klasificiran je bil kot »visoka vegetacija«. Obsežnejša analiza nam tako daje podatke o **morfologiji udornic**; preprosto lahko izračunamo določene morfometrične elemente (površina, volumen),



Slika 1: Primer enostavne identifikacije srednje velikega vhoda v brezno na DMR1 (Brezen za Hramom, katastrska številka 1521) z vrisanimi preteklimi določitvami lege jame.

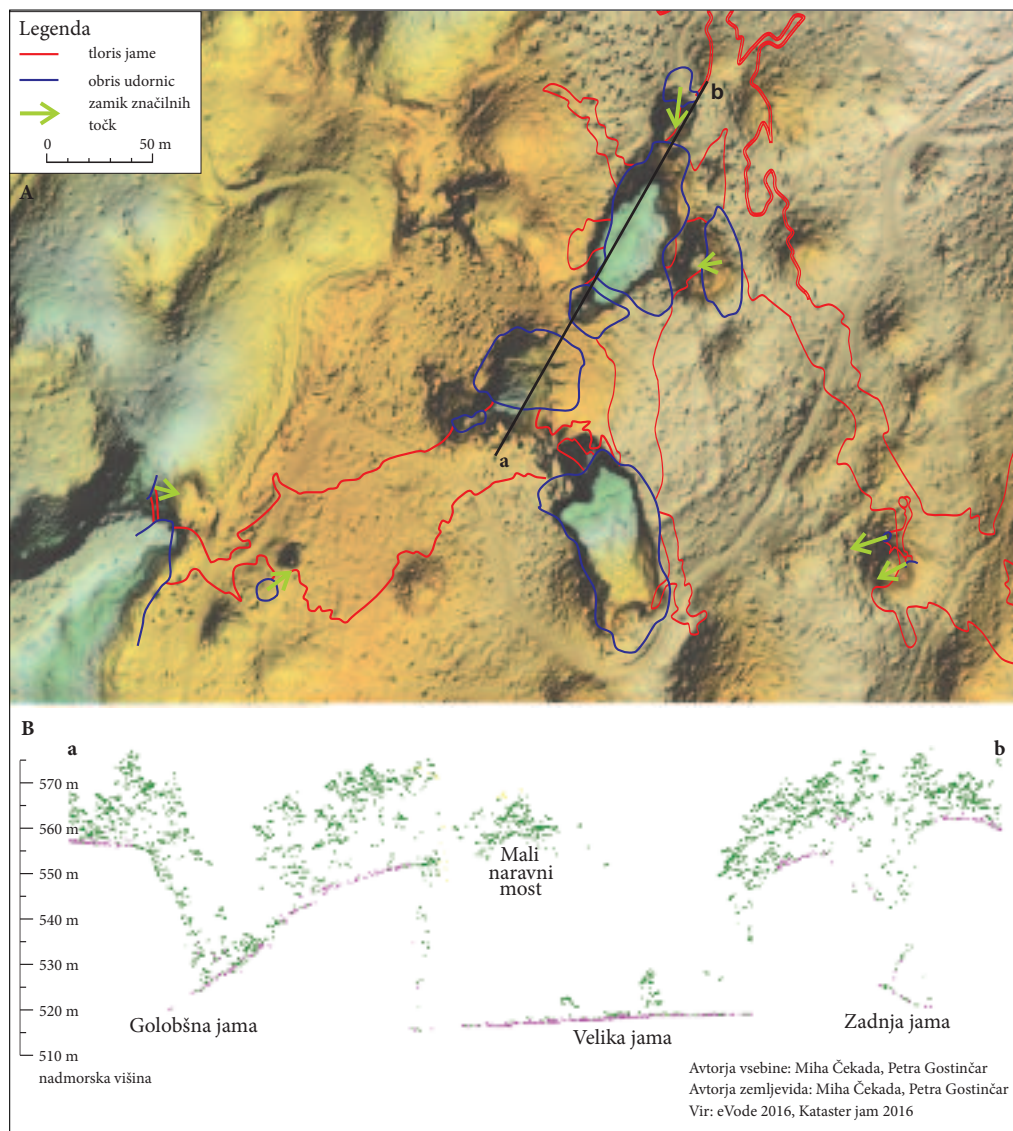




Slika 2: Primer zahtevne identifikacije majhnega vhoda v brezno (jama Sapnica, katastrska številka 2578): (a) DMR1, (b) DMR 25 × 25 cm iz klasifikacijskega razreda »tla«, (c) DMR 25 × 25 cm iz klasifikacijskih razredov »tla« in »nizke točke«, rumen kvadrat prikazuje prerez oblaka točk, (d) prerez oblaka točk GKOT, puščica kaže laserski odboj znotraj brezna.

saj lidarski podatki v primerjavi z izmerjenimi poligoni udornic ponekod dobro sovpadajo, na primer na vходу v jame Gradišnica (katastrska številka 86), Kačna jama (katastrska številka 955), Brezno pri Medvedovi konti (katastrska številka 2330) in druge.

Lidarski podatki so pomembni tudi za pravilno določitev **nadmorske višine** izhodiščnih točk za kalibracijo jamskega poligona.



Slika 3: Zelške jame (katastrska številka 576) kot primer kompleksnega sistema udornic in med seboj povezanih jamskih rogov. Zgoraj (a): načrt jamskih rogov (rdeče) in obrisi udornic (modro), položen na DMR1 (izdelan iz GKOT – razreda »tla« in »nizke točke«), črna linija prikazuje prerez oblaka točk. Spodaj (b): vzdolžni prerez oblaka točk prek treh udornic.

## 5 Sklep

Lidarski podatki predstavljajo izjemno priložnost v raziskovanju jam, saj rešujejo težavo določanja lege njihovih vhodov, če je vhod takšnih dimenzij, da ga lahko mikrolociramo v oblaku točk. Pri breznih z večjim vhodom (premer vsaj nekaj metrov) je prepoznavanje rutinsko, medtem ko je pri ožjih breznih potrebna bolj poglobljena analiza. Jam z vodoravnim vhodom na lidarskih podatkih neposredno ne vidimo, zato smo omejeni na posredno identifikacijo na podlagi bližnje okolice vhoda. Poleg pravilne določitve vhoda je še posebej pomembna natančna določitev nadmorske višine, predvsem pri vodnih jamah. Največ podatkov lahko izluščimo pri velikih jamskih vhodih.

Pri uporabnosti lidarskih podatkov za jamarstvo je treba upoštevati, da jamarji v splošnem nimajo posebnega znanja o geografskih informacijskih sistemih (GIS), niti dostopne posebne programske opreme. Kot smo prikazali v prispevku, podatki prikazani na spletnem pregledovalniku portala e-Vode za jamarstvo niso najbolj primerni, saj so pogosto točke, ki sicer predstavljajo površje (a se nahajajo na primer na dnu vhodnih brezen ali udornic), zaradi neustrezne klasifikacije odfiltrirane z DMR1. Kljub temu, da je algoritem, uporabljen za klasifikacijo oblaka georeferenciranih točk, dokaj uspešen, so na primeru kraškega površja in jamskih vhodov točke večkrat napačno klasificirane.

Na koncu poudarimo pomemben premik v konceptu določanja jamskih vhodov. Določanje lege je nekdanje pomenilo vizualno postavitev jame na zemljevid upoštevaje okoliško morfologijo. Iz tako določene točke na zemljevidu je jamar odčital koordinate. Z uporabo GPS-a se je določanje lege razvrednotilo v prepisovanje koordinat, večkrat brez ozira na dejansko stanje v naravi. Z lidarjem se vračamo v koncept postavitve jame v relief, torej v razumevanje lege vhoda v naravi, kjer so koordinate le končni zapis.

## 6 Viri in literatura

- Andrić, I., Bonacci, O. 2014: Morphological study of Red lake in Dinaric karst based on terrestrial laser scanning and sonar system. *Acta Carsologica* 43, 2-3. DOI: <http://dx.doi.org/10.3986/ac.v43i2.712>
- Čekada, M. 2010: Koliko se izboljšujejo lege jam? *Jamar* 2.
- Čekada, M. 2013: Statistical evaluation of cave location precision based on cartographic sources. 16<sup>th</sup> International Congress of Speleology. Brno.
- Čekada, M. 2015: Contemporary cave exploration in Slovenia. 23<sup>rd</sup> Karstological School »Classical Karst«, Caves – Exploration and Studies. Postojna.
- eVode, 2016. Medmrežje: <http://evode.arso.gov.si/index022.html?q=node/12> (28. 1. 2016).
- Gams, I. 2003: *Kras v Sloveniji v prostoru in času*. Ljubljana.
- Gostinčar, P., Ciglič, R. 2015: Large-scale geomorphological mapping: fieldwork vs. GIS – examples from Slovenia. EUGEO Congress. Budimpešta.
- Kataster jam. Jamarska zveza Slovenije, Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU. Ljubljana, Postojna, 2016.
- Kobal, M., Bertonec, I., Pirotti, F., Kutnar, L. 2014: Lidar processing for defining sinkhole characteristics under dense forest cover: a case in the Dinaric mountains. ISPRS Technical Commission VII Symposium. Istanbul. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7-113-2014>
- Kokalj, Ž., Zakšek, K., Oštir, K. 2013: Visualizations of lidar derived relief models. *Interpreting Archaeological Topography: Airborne Laser Scanning, 3D Data and Ground Observation*. Oxford.
- LAS specification, 2013. Medmrežje: [http://www.asprs.org/a/society/committees/standards/LAS\\_1\\_4\\_r13.pdf](http://www.asprs.org/a/society/committees/standards/LAS_1_4_r13.pdf) (1. 4. 2016).
- Mihevč, A. 2016: Uporaba lidarskih posnetkov v geomorfologiji krasa na primeru brezstropih jam. Srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko. Ljubljana.
- Mongus, D., Triglav Čekada, M., Žalik, B. 2013: Analiza samodejne metode za generiranje digitalnih modelov reliefa iz podatkov lidar na območju Slovenije. *Geodetski vestnik* 57-2. DOI: <http://dx.doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2013.02.045-259>

- Novaković, G., Mlekuž, D., Rozman, L., Lazar, A., Peric, B., Cerkenik, R., Peternelj, K., Erič, M. 2014: New approaches to understanding the world natural and cultural heritage by using 3D technology: UNESCO's Škocjan Caves, Slovenia. *International Journal of Heritage in the Digital Era* 3-4. DOI: <http://dx.doi.org/10.1260/2047-4970.3.4.629>
- Raba tal, 2016. Medmrežje: <http://rkg.gov.si/GERK/> (28. 1. 2016).
- Triglav Čekada, M. 2011: Možnosti 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.
- Triglav Čekada, M., Bric, V., Mongus, D. 2015: Napredne analize površja s podatki laserskega skeniranja Slovenije. Zbornik posveta 43. geodetskega dne. Ljubljana.
- Triglav Čekada, M., Zorn, M. 2014: Ugotavljanje intenzivnosti geomorfni procesov s pomočjo posnetkov cikličnega aerofotografiranja Slovenije. *Geografski vestnik* 86-2. DOI: <http://dx.doi.org/10.3986/GV86208>
- Zhu, J., Pierskalla, W. 2016: Applying a weighted random forests method to extract karst sinkholes from LiDAR data. *Journal of Hydrology* 533. DOI:10.1016/j.jhydrol.2015.12.012
- Zini, L., Calligaris, C., Forte, E., Petronio, L., Zavagno, E., Boccali, C., Cucchi, F. 2015: A multidisciplinary approach in sinkhole analysis: The Quinis village case study (NE-Italy). *Engineering Geology* 197. DOI:10.1016/j.enggeo.2015.07.004
- Zupan Hajna, N. 2015: Zaznavanje geologije in njenega vpliva na oblikovanosti kraškega reliefa nad Postojnsko in Planinsko jamo s pomočjo LiDAR posnetkov. 4. Slovenski geološki kongres: povzetki in ekskurzije. Ankaran.



# SAMODEJNO ZAZNAVANJE VODNIH POVRŠIN IZ RADARSKIH SATELITSKIH POSNETKOV IN NJIHOV PRIKAZ NA SPLETNEM PORTALU

**Klemen Čotar**

Center odličnosti Vesolje-SI

klemen.cotar@space.si

**dr. Žiga Kokalj**

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

ziga.kokalj@zrc-sazu.si

**Andrej Beden, mag. Matjaz Ivačič**

GeoCodis d. o. o.

andrej.beden@geocodis.si, matjaz.ivacic@geocodis.si

**dr. Krištof Oštir**

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

kristof@zrc-sazu.si

UDK: 528.8:502.51

## IZVLEČEK

**Samodejno zaznavanje vodnih površin iz radarskih satelitskih posnetkov in njihov prikaz na spletnem portalu**

Izdelali smo sistem za opazovanje vodnih zemljišč s podatki radarskih satelitov Sentinel-1. Algoritmi samodejno zaznajo obstoj novega posnetka, ga presnamejo, ugotovijo stanje voda, zapišejo rezultat in ga objavijo na spletnem mestu. Podatki so ob utirjenem enem satelitu na voljo približno vsakih šest dni, v prihodnje pa bodo na vsake tri dni, ko bo utirjen še drugi satelit.

## KLJUČNE BESEDE

vodna zemljišča, Sentinel-1, radar, poplave, spletno kartiranje

## ABSTRACT

**Automatic mapping of water bodies from radar satellite images and their web based dissemination**

We have implemented a system for mapping of water bodies in Slovenia and its immediate neighbourhood with Sentinel-1 radar satellites. Algorithms automatically detect presence of new data, download the data, analyse it, write the results, and publish them on a web portal. New acquisitions are currently available every six days, but this time will be halved when the second Sentinel-1 is launched.

## KEY WORDS

water bodies, Sentinel-1, radar, floods, web mapping

## 1 Uvod

Leta 2014 je Evropska vesoljska agencija pod okriljem evropskega programa *Copernicus* pričela z vtirjanjem skupine šestih različnih satelitov *Sentinel* (Veljanovski s sodelavci 2014), ki so namenjeni opazovanju Zemlje z različnimi pristopi v različnih delih elektromagnetnega valovanja. Prvi je bil izstreljen radarski satelit z oznako *Sentinel-1A*. Njegove podatke smo uporabili pri tej analizi. Vsi zajeti podatki so uporabnikom dostopni brezplačno preko spletnega portala *Sentinels Scientific Data Hub* (medmrežje 1).

Pri določanju vodnih zemljišč imajo radarski podatki v primerjavi z optičnimi satelitskimi podatki nekaj prednosti in pomanjkljivosti. Kombinacija valovne dolžine radarskega signala (5,55 cm) in aktivnega delovanja satelita (oddaja lastno valovanje, ni potrebe po sončevi osvetljenosti površja) omogočata satelitu nemoteno opazovanje podnevi in ponoči, ne glede na vremenske razmere, kar zelo olajša spremljanje na primer poplavnih dogodkov. Vodna zemljišča so na posnetku zaradi popolnega odboja na gladini vidne kot temne lise, njihova točna vrednost pa je odvisna od razburkanosti gladine in ne barve vode, česar smo raven pri optičnih posnetkih. Zaznavanje otežujejo valovanje, močni vetrovi na površini in močno deževje, ki razburkajo vodno površino. Ovire za radarsko zaznavo so tudi poplavljeni območja pod rastjem ter v urbanih središčih, zato se številne raziskovalne skupine (Bates in De Roo 2000; Horritt in Bates 2002; Hostache s sodelavci 2009) po končani zaznavi ukvarjajo tudi z modeliranjem območij voda na podlagi digitalnega modela reliefa.

Izdelani algoritem določitve vodnih območij deluje na principu določitve meje z analizo histograma sivinskih vrednosti posnetka, podobno, kot večina drugih znanih algoritmov (Hostache s sodelavci 2009; Martinis, Twele in Voigt 2009; Mason s sodelavci 2010; Matgen s sodelavci 2011). Celoten postopek deluje samodejno, brez posredovanja operaterja, in se sproži, ko so na portalu dostopni novi podatki za območje Slovenije in okolice (slika 1). Pri trenutni pogostosti opazovanja lahko na vsakih šest dni (ter tri dni, ko bosta operativna oba satelita) podamo stanje vodnih zemljišč za opazovano območje.



Slika 1: Postopek pridobivanja podatkov o vodnih zemljiščih.

## 2 Predobdelava

Posnetek, ki ga pridobimo iz distribucijskega portala ni umeščen v prostor in zaradi specifičnih pogojev pri snemanju vsebuje popačitve na topografsko razgibanem terenu. Popravke izvajamo z odprtokodnim programskim orodjem *Sentinel Application Platform* (SNAP) (medmrežje 2) po naslednjih korakih:

- radiometrična kalibracija,
- glajenje in odstranjevanje šuma,
- georeferenciranje in topografski popravki.

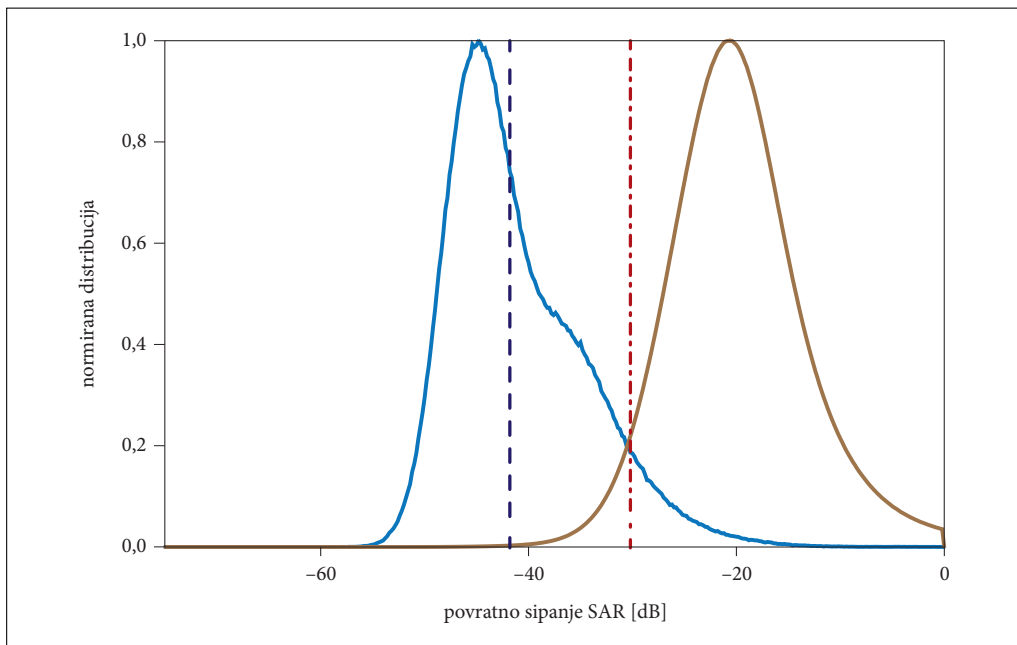
Z radiometrično kalibracijo vrednosti, ki jih je zaznal satelit, naredimo popravke za različne vpadne kote snemanja in za sevalni diagram antene ter jih spremenimo v fizikalno oprijemljive vrednosti, ki povedo intenziteto povratnega sipanja vpadnega radarskega signala. Dinamični razpon teh vrednosti se običajno razteza prek več velikostnih razredov, zato jih z logaritmiranjem spremenimo v enoto decibel ter obenem povečamo kontrast med kopnim in vodami. Temu sledi znižanje zrnatega šuma z algoritmom adaptivnega filtriranja *Refined Lee* (Lee 1981). Ta korak je pri analizi radarskih posnetkov nujen, saj šum zelo otežuje interpretacijo posnetka. Sam izraz šum sicer na tem mestu ni najbolj ustrezen, saj se efekt pojavi zaradi koherentnosti oddanega radarskega signala in dejansko ne znižuje kakovosti posnetka. Tako popravljen posnetek z upoštevanjem orbitalnih parametrov tirnice satelita umestimo

v nacionalni koordinatni sistem D48GK in prevzorčimo na prostorsko ločljivost 10 m. Zaradi velikega vpadnega kota snemanja v zadnjem koraku predobdelave z digitalnim modelom reliefa odpravimo topografske deformacije posnetka, ki se kažejo kot navidezna usmerjenost gora proti snemalnemu sistemu ter neenakost osvetlitve na prisojni in osojni (glede na satelit) strani pobočja. V istem koraku izračunamo še območja radarskih senc in prekrivanja podatkov, ki bodo v naslednjih korakih uporabljena za maskiranje, saj je kakovost podatkov na teh območjih zelo nizka.

### 3 Grobo določanje vodnih zemljišč

Algoritem za določanje vodnih zemljišč potrebuje pomožne podatke o območjih stalnih vodnih zemljišč. Sloj je bil prvotno izdelan iz podatkov o vodotokih Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, kjer smo upoštevali le vodotoke širše od 10 m in nadgrajen (predvsem za območja izven Slovenije) z območji, kjer je naš algoritem pogosto zaznal vodna zemljišča.

Postopek ločevanja vodnih zemljišč od kopnega temelji na izračunu mejne vrednosti. Slikovni elementi z višjo vrednostjo so kopni, tisti z nižjo pa so vodna zemljišča. Raven določimo z izdelavo in medsebojno primerjavo histogramov normiranih sivinskih vrednosti na posnetku (slika 2). S prvim histogramom določimo porazdelitev vrednosti za območja, ki so v pomožnem sloju označena kot stalna vodna zemljišča, z drugim pa porazdelitev vrednosti vseh ostalih območij, ki jim odstranimo območja radarskih senc, saj so njihove sivinske vrednosti zelo podobne vodam. Z analizo obeh histogramov določimo dve pragovni vrednosti za vode. Višji prag (rdeča črta na sliki 2) je določen kot sivinska vrednost pri kateri se histograma sekata, nižji sivinski prag (vijolična črta na sliki 2) pa je izračunan le iz histograma za referenčne vode ter je določen kot vrednost pri kateri začne opazovan histogram upočasnjeno upadati (prvi odvod histograma ima najnižjo vrednost).



Slika 2: Histograma normiranih sivinskih vrednosti za vode (modro) in kopno (rjavo). Vijolična črta označuje nižji, rdeča pa višji prag.



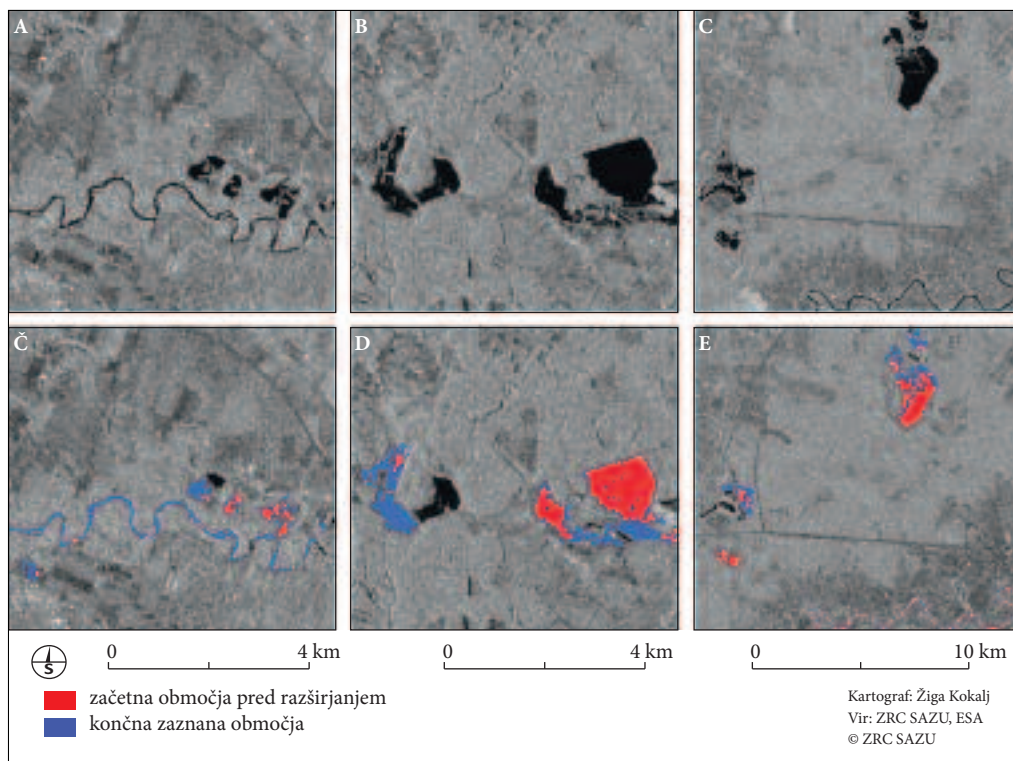
Satelit *Sentinel-1* zajema podatke v dveh različnih polarizacijah (VV in VH), kar lahko enačimo z dvema različnima spektralnima kanaloma pri optičnih posnetkih. Opisan postopek določitve pragov zato izvedemo neodvisno za obe polarizaciji, s čimer dobimo štiri različne pragove za vodo.

V prvem koraku določanja vodnih zemljišč nas ne zanimajo točne meje območij, temveč le neka manjša začetna območja, za katera lahko z visoko verjetnostjo trdimo, da označujejo vode. Slikovne elemente, za katere velja, da je njihova sivinska vrednost v eni od obeh polarizaciji nižja od določene- ga spodnjega praga in pri katerih je razmerje med polarizacijama VV/VH večje od empirično določene vrednosti 0,75, označimo kot začetna območja voda (slika 3).

V tem koraku hkrati z določitvijo pragov izvedemo tudi grobo oceno ali je v koraku predobdelave prišlo do napak pri kalibraciji ali georeferenciranju. To izvedemo s primerjavo lokacije vrhov obeh histogramov. V kolikor je razmik med vrhovoma zelo majhen ali pa ga ni, ustavimo nadaljnjo obdelavo posnetka.

## 4 Izločanje napak

V prejšnjem koraku smo obravnavali vsak slikovni element posebej, od tu naprej pa elemente, ki se dotikajo s stranicami, združimo in obravnavamo kot eno regijo. Določanje in izločanje napačno zaznanih regij opravimo v dveh korakih; glede na njihove geometrične lastnosti in sivinske vrednosti.



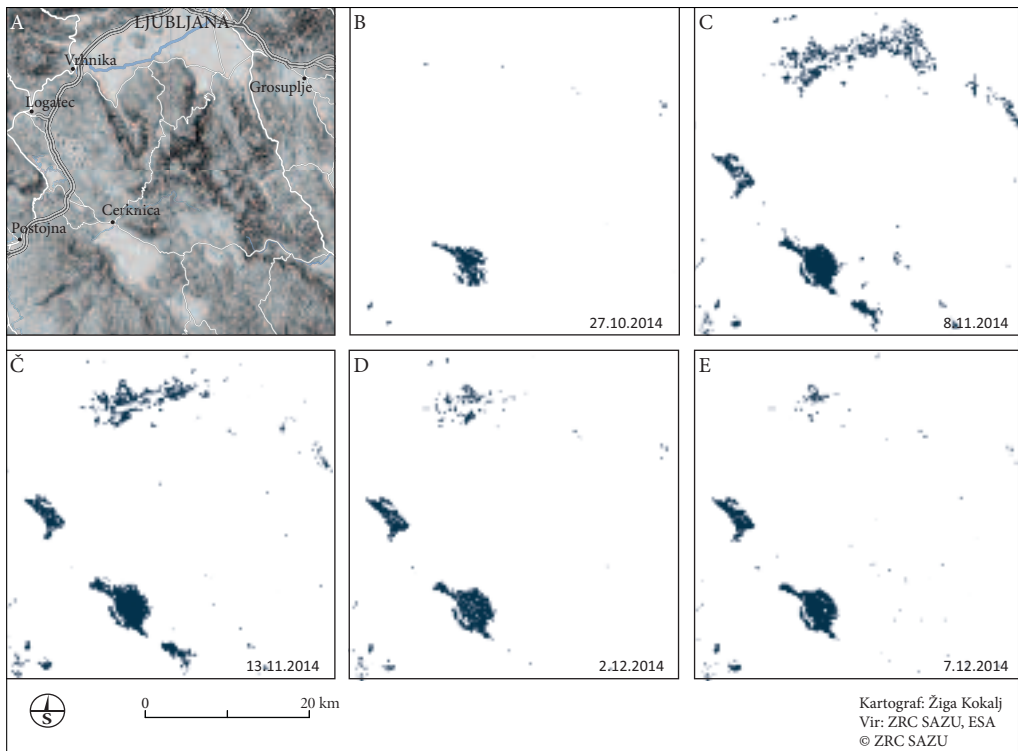
Slika 3: Radarski posnetek z 16. septembra 2015 ter na njem zaznana začetna (rdeče) in končna (modro) območja vodnih zemljišč. Mura na tromeji med Slovenijo, Madžarsko in Hrvaško (A, Č), ribniki vzhodno od Dubrave na Hrvaškem (B, D) ter ribniki in Kolpa severovzhodno od Karlovca na Hrvaškem (C, E).

Z upoštevanjem slojev digitalnega modela reliefa in naklona, geometrično izločimo vse regije, ki ležijo v radarski senci (poglavje 2) ter na območjih, kjer je naklon površja večji od  $10^\circ$ . V tem koraku lahko izločimo tudi poplavljen območja, ki ležijo na strmem bregu reke. Ker še ne določamo točne meje vode (le začetne regije) to ni težava, saj bomo ta območja ponovno dodali pri postopku razširjanja regij (poglavje 5).

Sledi analiza sivinskih vrednosti znotraj in v okolici preostalih regij. Opazujemo statistične lastnosti vrednosti elementov znotraj regije, razmerje vrednosti med obema polarizacijama ter primerjamo vrednosti med okolico regije in njeno notranjostjo. S tem odpravimo velik del nepravilno zaznanih regij (na primer zasnežena območja, nekatera gola kmetijska zemljišča), obenem pa preostale regije razdelimo v dve skupini glede na verjetnost, da resnično pripadajo vodnim zemljiščem.

## 5 Razširjanje regij

Z zadnjim korakom zaznave vodnih zemljišč poskušamo določiti čim bolj natančno mejo med kopnim in vodami. Uporabimo postopek razširjanja začetnih regij (angl. *region growing*) na sosednje slikovne elemente, ki imajo vodi podobne sivinske vrednosti. Razširjanje izvedemo v dveh korakih, glede na to stopnjo verjetnosti. Regije z višjo stopnjo verjetnosti pripadnosti vodnim zemljiščem razširimo zelo močno in začetnim elementom priključimo še vse sosednje, ki imajo vrednost nižjo od določenega zgornjega pragu za vodo (poglavje 3). Tiste z manjšo stopnjo zaupanja pa razširimo manj ali sploh ne, če sta vrednosti zgornjega in spodnjega praga zelo skupaj.



Slika 4: Zemljevid območja (A) in veččasovni podatki o vodnih zemljiščih ob poplavih jeseni 2014.

Postopek razširjanja se izvede dvakrat, neodvisno za vsako polarizacijo, z istimi začetnimi regijami; zaznave medsebojno seštejemo. Po končanem razširjanju izvedemo še preverjanje smiselnosti rezultatov. Površino zaznanih voda primerjamo s površino referenčnih vodnih zemljišč. Če se njuno razmerje razlikuje za več kot 10-krat (za upoštevanje ekstremnih dogodkov kot so poplave), prekinejo z nadaljnjo obdelavo posnetka.

Končni rezultat predlaganega algoritma je rastrska podoba, ki je po prostorski ločljivosti enaka originalnemu posnetku, a je obrezana na širše območje Slovenije, za katerega imamo podatke o reliefu. Ločimo tri razrede: zaznane vode, kopno in območje izven posnetka. Takšen zapis rezultatov je primeren za nadaljnjo obdelavo, saj tako lahko izdelamo veččasovne kompozite in določimo pogostost zaznave vode (slika 4).

## 6 Vektorizacija rezultatov in shranjevanje

Tako pripravljene rastrske podobe se za nadaljnje analize in spletne vizualizacije z namenskim odprtokodnim orodjem GDAL (medmrežje 3) pretvorijo v vektorsko obliko. Pri tem je treba upoštevati vse geometrijske in topološke lastnosti originalnega podatka. V bazo podatkov se ločeno zapišejo vsa območja na katerih so bila zaznana vodna zemljišča in ločeno tudi območja posameznega snemanja. Za nadaljnjo obdelavo dodamo vsakemu območju podatek o času snemanja, času obdelave posnetka in polje za opis kakovosti zaznavanja. V primeru, da po avtomatski obdelavi uporabnik ugotovi določene nepravilnosti, se ugotovitve zabeležijo v bazo in služijo kot osnova za nadaljnje analize ali izboljšave postopka zaznavanja.

Sočasno z zapisom osnovnih podatkov o zaznanih zemljiščih se izvedejo tudi prekrivanja vodnih zemljišč z ostalimi geografskimi ali administrativnimi območji. Tako lahko hitro tvorimo bazo za različne prostorske statistike, kot je na primer delež vodnih zemljišč v občini, število dni s povečanjem vodnih zemljišč znotraj geografske enote in podobno.

Algoritem zaznavanja še vedno posodabljam in izboljšujem, zato smo omogočili tudi posodobitev podatkov za pretekla obdobja. Ko ugotovimo, da je na primer razmočen sneg vplival na zaznavne lastnosti in lahko takšna območja z uporabo dodatnih meritev izločimo, se podatki v bazi zamenjajo.

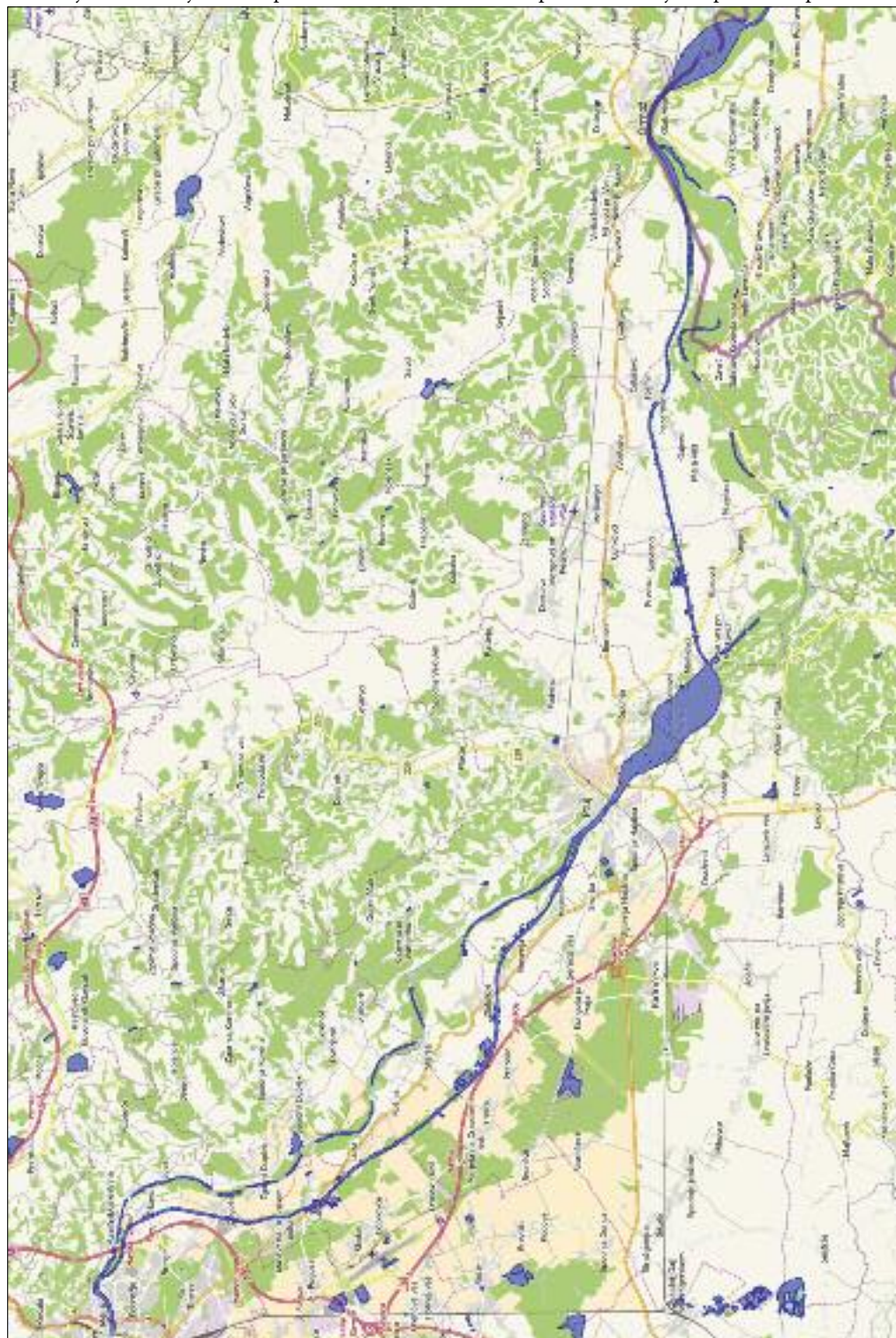
Podatki zaznanih vodnih zemljišč so končnim uporabnikom dostopni tudi prek različnih spletnih storitev.

## 7 Spletni prikaz

Spletni portal je le ena od možnosti prikaza zaznanih vodnih zemljišč na topografski, satelitski ali kakšni drugi kartografski podlagi. Izdelali smo spletni portal (slika 5), ki omogoča pregled zadnjega snemanja in vseh snemanj v preteklosti, obenem pa je možno videti tudi načrt snemanj za en mesec naprej. Za določeno območje lahko izdelamo video animacijo vseh posnetkov med dvema obdobjema. Na preprost način lahko prikažemo stanje vodnih (poplavnih) razmer v preteklem letu ali drugem izbranem obdobju. Zanimiva zmožnost je še prikaz kumulativne vodnih zemljišč za določeno obdobje. Tak zemljevid lahko dolgoročno služi za izračun poplavnih območij in druge študije. Portal omogoča tudi preprost vnos poročanja o zaznanih napakah v obliki spletnega obrazca.

Za uporabnike, ki želijo določene spletne servise integrirati v obstoječ spletni portal, obstaja niz spletnih vmesnikov za aplikacijsko programiranje (angl. *application programming interface*). Tako je rešitev dostopna javnosti, profesionalnim uporabnikom ter tudi integraciji z drugimi sistemi in rešitvami. Spletni portal je z vsemi zmožnostmi komercialno dostopen le registriranim uporabnikom, v omejeni različici pa je dostopen zainteresirani javnosti na spletnem naslovu [www.vodakje.si](http://www.vodakje.si).

*Slika 5: Prikaz zaznav v spletnem pregledovalniku podatkov o vodnih zemljiščih. ►*



## 8 Sklep

Radarski satelitski sistemi imajo pred optičnimi nekaj občutnih prednosti, med katerima sta najpomembnejši neodvisnost od vremenskih razmer in sončne osvetlitve. Zaradi tega so primerni za opazovanje vodnih zemljišč. Podatki radarskega satelita *Sentinel-1A*, prvega, ki je bil izstreljen v okviru programa *Copernicus*, so na voljo brezplačno. Na njihovi podlagi smo izdelali algoritem za zaznavanja vodnih zemljišč. Algoritem je razmeroma preprost in robusten, deluje popolnoma samodejno in daje hitre informacije o stanju vodnih zemljišč tudi za večje ozemlje. Trenutno spremljamo stanje v Sloveniji in njeni bližnji okolici, v kratkem pa bomo območje opazovanja razširili na celoten Balkan. V procesu poobdelave načrtujemo vpeljavo bolj podrobnega filtriranja s podatki o reliefu, ki izhajajo iz zračnega laserskega skeniranja, izvesti pa moramo tudi obsežnejšo analizo kakovosti izdelkov.

## 9 Viri in literatura

- Bates, P. D., De Roo, A. P. J. 2000: A simple raster-based model for flood inundation simulation. *Journal of Hydrology* 236-1. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00278-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00278-X)
- Horritt, M. S., Bates, P. D. 2002: Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. *Journal of Hydrology* 268-1. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00121-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00121-X)
- Hostache, R., Matgen, P., Schumann, G., Puech, C., Hoffmann, L., Pfister, L. 2009: Water level estimation and reduction of hydraulic model calibration uncertainties using satellite SAR images of floods. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 47-2. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/tgrs.2008.2008718>
- Lee, J. S. 1981: Refined filtering of image noise using local statistics. *Computer Graphics and Image Processing* 15-4. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0146-664X\(81\)80018-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0146-664X(81)80018-4)
- Martinis, S., Twele, A., Voigt, S. 2009: Towards operational near real-time flood detection using a split-based automatic thresholding procedure on high resolution TerraSAR-X data. *Natural Hazards and Earth System Science* 9-2. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-9-303-2009>
- Mason, D. C., Speck, R., Devereux, B., Schumann, G. J., Neal, J. C., Bates, P. D. 2010: Flood detection in urban areas using TerraSAR-X. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 48-2. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/tgrs.2009.2029236>
- Matgen, P., Hostache, R., Schumann, G., Pfister, L., Hoffmann, L., Savenije, H. H. G. 2011: Towards an automated SAR-based flood monitoring system: Lessons learned from two case studies. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 36-7. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2010.12.009>
- Medmrežje 1: <https://scihub.copernicus.eu/> (25. 1. 2016).
- Medmrežje 2: <http://step.esa.int/main/toolboxes/snap/> (25. 1. 2016).
- Medmrežje 3: <http://www.gdal.org/> (25. 1. 2016).
- Veljanovski, T., Švab Lenarčič, A., Oštir, K. 2014: Sateliti Sentinel – Vesoljska komponenta evropskega programa za opazovanje zemlje Copernicus. *Geodetski vestnik* 58-3.

## PODATKI O VODAH IN VODNIH ZEMLJIŠČIH V SLOVENIJI

**dr. Dušan Petrovič, dr. Mojca Kosmatin Fras, dr. Dejan Grigillo, dr. Matjaž Mikoš**

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani

dusan.petrovic@fgg.uni-lj.si, mojca.kosmatin-fras@fgg.uni-lj.si, dejan.grigillo@fgg.uni-lj.si,

matjaz.mikos@fgg.uni-lj.si

**Primož Kete, Vesna Dežman Kete**

Geodetski inštitut Slovenije

primoz.kete@gis.si, vesna.dezman@gis.si

UDK: 556.18:659.2(497.4)

### IZVLEČEK

#### **Podatki o vodah in vodnih zemljiščih v Sloveniji**

Podatki o vodah in vodnih zemljiščih so zelo pomemben podatkovni sloj za učinkovito in uspešno upravljanje z vodami, vzdrževanje vodotokov, urejanje lastniških razmerij, spremljanje stanja. Do sedaj so bile v Sloveniji vodene z nezadostno podrobnostjo in zanesljivostjo ter brez določitve meja območij v sodelovanju različnih strok. Prispevek opisuje potrebe in pomen urejenosti tovrstnih podatkov, pregled dosedanjega stanja, nekatere aktivnosti, ki se na področju zajema in urejanja podatkov izvajajo v letu 2016, pa tudi nujne dodatne aktivnosti, ki so potrebne s strani vseh strok za zagotovitev ustreznega podatkovnega sloja.

### KLJUČNE BESEDE

vode, vodna zemljišča, pridobitev podatkov, interpretacija voda

### ABSTRACT

#### **Water and water lands data in Slovenia**

Data on water and water lands are very important data layer for efficient and effective water management, maintenance of watercourses, regulation of ownership relationships, water monitoring. So far in Slovenia water and water lands databases were maintained with insufficient detail and reliability as well as without specifying the border areas of cooperation between involved disciplines. This paper describes the need and importance of the regulation of such data, an overview of the status quo, some activities in the field of capture and data editing carried out in the year 2016, as well as further activities that are required by all disciplines to ensure the appropriate water and water lands data.

### KEY WORDS

waters, water lands, data capturing, water interpretation

## 1 Uvod

Podatki o vodah in vodnih zemljiščih so zelo pomemben podatkovni sloj za učinkovito ter uspešno upravljanje z vodami, vzdrževanje vodotokov, urejanje lastniških razmerij in spremljanje stanja. Do sedaj so bile v Sloveniji vodene v posameznih podatkovnih evidencah za katere sta skrbela Geodetska uprava Republike Slovenije ter Agencija Republike Slovenije za okolje, a so bili podatki nezadostno podrobni, zastareli in nezanesljivi, brez jasnih določitve meja območij. Sočasno smo v zadnjih letih pričali povečanim potrebam po urejenosti podatkov: lastniški izzivi, zahteve vodne direktive Evropske unije, določila preureditve in uskladitve podatkov v skladu z evropsko direktivo INSPIRE, prehod na nov državni koordinatni sistem.

## 2 Dosedanje stanje topografskih podatkov o vodah

Topografski podatki o vodah so pomemben vsebinski sloj, ki se prikazuje na topografskih kartah ali pa tvori del vsebine topografske baze. V topografskih bazah so podatki o vodah zbrani v objekt-nem področju, ki ga sestavlja več objektnih tipov oziroma slojev, ker je treba upoštevati pravila GIS tehnologije (Kraus 2000). V enem vsebinskem sloju so lahko le podatki ene topološke oblike (točka, linija, ploskev).

Za ozemlje Slovenije so se topografski podatki o vodah prikazovali že na temeljnem topografskem načrtu v merilu 1 : 5000 (TTN 5) ter 1 : 10.000 (TTN 10) za manj poseljena območja. Prva izdelava civilnih načrtov (Osnovna državna karta) se je začela leta 1955 iz posnetkov aerosnemanja, ki ga je izvajal Vojaški geografski inštitut Jugoslovanske ljudske armade (VGI). V začetku 70-ih let prejšnjega stoletja je bila na Geodetskem zavodu Slovenije ustanovljena slovenska aerosnemalna služba, ki je leta 1975 uradno začela izvajati projekt Cikličnega aerosnemanja Slovenije (CAS) (Breg Valjavec in Ribeiro 2014). Stereopari CAS so bili osnovni vir za fotogrametrični zajem podatkov za TTN, katere obnova listov je potekala do leta 1997. Uporabniki lahko pridobijo skenograme posameznih slojev, med katerimi je tudi sloj voda (hidrografska mreža z imeni in vodni objekti) (Prostor ... 2016). Podatki, ki so se zajemali in prikazovali na karti TTN, so po obsegu in vsebini kakovostni, vendar pa zaradi zastarelosti tehnologije in predvsem časovne zastarelosti v današnjem času ne morejo več biti referenčen vir. Kljub temu se v praksi listi TTN pogosto še uporabljajo kot pomožni vir, tudi za podatke o vodah, saj na njih najdemo lokacije izvirov, nekdanjih strug vodotokov, ki so do danes morda že spremenili potek.

Topografske podatke o vodah najdemo tudi na sistemski državni topografski karti v merilu 1 : 25.000 (DTK 25), ki jo sestavlja 198 listov, izdelanih v obdobju 1994 do 1999. Vsi listi DTK 25 so bili po posameznih vsebinskih slojih skenirani in dostopni uporabnikom (Prostor ... 2016).

Z vektorizacijo nekaterih vsebin karte DTK 25 (ceste, vode, plastnice in železnice) je bila vzpostavljena Generalizirana kartografska baza v merilu 1 : 25.000 (GKB 25). Poleg lokacije ima posamezen objekt baze podane tudi osnovne opisne podatke (attribute). Vsebinski sloj Vode je sestavljen iz linijskih objektov (osi vodotokov), točkovnih objektov (na primer izviri, slapovi, jezovi) in ploskovnih objektov (na primer jezera, mlake). Baza je oblikovana tako, da se lahko prek identifikatorjev posameznih objektov, ki so zajeti v bazi, povezuje z drugimi bazami podatkov (Prostor ... 2016). Po osnovni zamisli je bila baza izdelana kot temeljni digitalni vektorski vir za široko uporabo, ki ga uporabniki lahko po svojih potrebah nadgradijo. Ta vir so izkoriščali predvsem ponudniki kart za navigacijske sisteme (Petrovič s sodelavci 2011).

V sredini 90-ih let prejšnjega stoletja je naraščala potreba po primarnih vektorskih topografskih podatkih za raven največjega državnega merila 1 : 5000. Iskanje ustreznih tehnoloških, tehničnih, organizacijskih in finančnih rešitev, je pod okriljem Geodetske uprave Republike Slovenije in z razvojnim prispevkom Geodetskega inštituta Slovenije ter nekaterimi podjetji potekalo od leta 1994 do leta 2001. Masovni zajem vektorskih podatkov za podatkovno bazo, ki jo poznamo pod kratico DTK 5 ter je vektorska zbirka topografskih podatkov homogene natančnosti in podrobnosti, ki ustreza ravni merila 1 : 5000,

se je začel leta 2002. Zajem podatkov, geometrično zajetih v treh razsežnostih, se izvaja iz posnetkov cikličnega aerofotografiranja, ki se od leta 2006 izvaja v digitalni tehnologiji; za nekatere atributne podatke, ki iz letalskih posnetkov niso vidni, se uporabljajo dodatni viri. Podatki o vodah v DTK 5 so razdeljeni v tri objektne tipe: vodna zemljišča, os vodotoka in pojavi na vodah. Do danes je projekt doživel nekaj sprememb, nazadnje leta 2015, ko je bil oblikovan Državni topografski model – DTM (Navodila ... 2015). Vsi listi karte (enota zajema je list karte TTN 5, digitalni podatki so v bazi združeni brezšivno) za celo ozemlje Slovenije še niso bili zajeti, tako da vsebinsko ta baza še ni popolna in je na določenih območjih tudi že zastarela. V letu 2016 se zajem pospešeno nadaljuje po novih tehničnih navodilih za tri objektna področja (zgradbe, transport, raba), saj so hidrografske podatki zajeti v ločenem projektu, ki je opisan v poglavju 3.

Čeprav je DTK 5 oziroma DTM edina vektorska baza topografskih podatkov na državni ravni, v kateri so podatki zajeti iz primarnega vira (letalskih stereoparov) in ne z vektorizacijo analognih kart, ter je izdelana z upoštevanjem sodobnih tehnologij, so njene glavne pomanjkljivosti vsebinska okrnjenost (precej manj podrobna vsebina kot na TTN), nedokončanost za celotno območje Slovenije in posledično vedno večja časovna zastarelost.

### 3 Zajem podatkov hidrografije in vodnih zemljišč

Pomena vodnega prostora so se zavedali že v času priprave veljavnega Zakona o vodah (2002), ko so na Vodnogospodarskem inštitutu v Ljubljani (VGI; predhodnik Inštituta za vode Republike Slovenije), po naročilu Ministrstva za okolje in prostor Republike Slovenije, v 90-ih letih pripravili Metodologijo za določitev vodnih zemljišč in gospodarjenje z njimi (Metodologija ... 1994) in jo preverili na različnih tipih vodotokov (Metodologija ... 1995). Uvedli so pojem vodnega prostora kot zemljišča, na katerem vode odločilno določajo nastanek, obstoj in razvoj teh zemljišč oziroma njihov pomen za človeka. Predlagali so, da naj Zakon o vodah (2002) vodni prostor deli glede na različno namembnost zemljišč v tri skupine: vodna zemljišča, vodni svet (vplivna zemljišča) ter zavarovana in vodovarstvena območja (Mikoš 1994, 1995b). Študija VGI je navajala splošne kriterije za določanje vodnih zemljišč (upoštevaje štiri vidike vrednotenja vodnega prostora: vodnogospodarski, naravovarstveni, (po)krajinski in družbeni (Mikoš 1995a)), kot najbolj pomembnega dela vodnega prostora za državo in gospodarjenje z vodami ter predvidela razglasitev javnega dobra v katastrskih načrtih za vodno zemljišče z možnostjo njihove širitve na terenu. Strokovne razprave o določanju vodnih zemljišč je presekal Zakon o vodah (2002), ki je v 11. členu določil vodna zemljišča celinskih voda z določilom, da minister predpiše podrobnejši način določanja meje vodnega zemljišča ter v 12. členu, da mejo vodnega zemljišča določi na podlagi določb 11. člena ministrstvo, pristojno za vode z razširitvijo, da se bo podatke o meji vodnega zemljišča vodilo v vodnem katastru, v zemljiškem katastru pa se bo podatek o vodnem zemljišču prevzel kot dejanska raba. Leta 2006 je bil sprejet Pravilnik o podrobnejšem načinu določanja meje vodnega zemljišča tekočih voda (Pravilnik ... 2006).

Za nadgradnjo opisanega stanja na področju podatkov za upravljanje z vodami je v začetku leta 2013 resorno ministrstvo, pristojno za vode (takrat Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, danes Ministrstvo za okolje in prostor (MOP)), pristopilo k projektu »Zagotavljanje sistemskih podatkovnih podlag in informacijske infrastrukture za upravljanje z vodami« (medmrežje 1). V treh letih trajanja projekta (projekt se je zaključil sredi leta 2016) so bile v okviru projekta vzpostavljene naslednje podatkovne podlage, pomembne za upravljanje z vodami:

- a) lidarsko skeniranje celotnega ozemlja Slovenije, katerega rezultat so: georeferenciran in klasificiran oblak točk (GKOT), oblak točk reliefa (OTR) in digitalni model reliefa (DMR);
- b) zajem vodnih zemljišč (predlog vodnega zemljišča oziroma dejanska raba vodnega zemljišča) – rezultat je vektorski ploskovni sloj dejanske rabe vodnih zemljišč ter
- c) zajem hidrografije – rezultat so vektorski točkovni, linijski in ploskovni sloji hidrografije.



Projekt je izvedel Geodetski inštitut Slovenije z izbranimi podizvajalci. Zajem hidrografije in vodnih zemljišč je bil izveden v obliki masovnega zajema. Zajem je potekal v skladu z metodologijo, ki jo je v okviru projekta »Izdelava metodologije in tehnološke rešitve za obnovo podatkov o vodah v DTK5 in hkratni zajem podatkov o dejanski rabi vodnih zemljišč« (Izdelava ... 2011) leta 2011 pripravil Geodetski inštitut Slovenije v sodelovanju z verifikacijsko skupino MOP. Izhodišča za pripravo metodologije so bile med drugim smernice direktive INSPIRE za temo hidrografija (*hydrography*) in »Pravilnik o podrobnejšem načinu določanja meje vodnega zemljišča tekočih voda« (2006). Izdelek sledi specifikaciji direktive INSPIRE za hidrografijo glede nabora atributov, geometrijskih odvisnosti in objektnih tipov, a ne predstavlja celovite implementacije zahtev direktive INSPIRE za hidrografijo. Od celotnega nabora kriterijev za določitev meje vodnega zemljišča po omenjenem pravilniku sta bila upoštevana dva kriterija (geomorfološka sprememba, obvodni nasip), ki ju je mogoče upoštevati pri predvideni metodi zajema.

Pri masovnem zajemu je bil uporabljen kombiniran fotogrametrični zajem na temelju izdelkov Cikličnega aerofotografiranja Slovenije (CAS) in Laserskega skeniranja Slovenije (LSS). Kombiniran zajem pomeni, da se za optimalno določitev 3R in atributov prostorskih objektov uporablja zajem na podlagi stereoparov CAS in podatkov LSS (DMR1 ali GKOT – klasifikacijski razred tla). Na odprtem terenu se zaradi lažje fotointerpretacije zajem izvaja na podlagi stereoparov CAS, na olistanem terenu pa geometrijo pripenjamo ali interpoliramo med točke DMR1 ali GKOT.

Osnova kombiniranega fotogrametričnega zajema je identifikacija in interpretacija iz predpisanih virov. Zaradi tega je bila pri masovnem viru uporabljena vrsta virov, ki so bili uvrščeni v tri osnovne sklope:

- osnovni viri (CAS, DMR1, GKOT),
- dopolnilni viri (skenogrami državnih topografskih kart, PAS1, DTK5, DOF025) ter
- tematski viri (sloj enoličnih identifikatorjev površinskih rečnih tokov, sloj hidronimov iz Registra zemljepisnih imen REZI).

Masovni zajem podatkov je bil izveden v treh razsežnostih (3R) v novem državnem koordinatnem referenčnem sistemu D96/TM. Za zajem podatkov s kombinirano metodo je bila razvita specializirana fotogrametrična aplikacija. V fazi zajema so se podatki hranili v bazi podatkov, do katere so z različnimi uporabniškimi pravicami dostopali vsi akterji zajema. Za zagotavljanje ustrezne kakovosti rezultatov zajema, je bila v okviru masovnega zajema narejena kontrola na več ravneh, pri kateri so sodelovali:

- zajemalec (operator),
- notranji kontrolor,
- zunanji kontrolor in
- super kontrolor.

Celotna kontrola je obsegala:

- atributne kontrole,
- geometrijske kontrole,
- topološke kontrole,
- vsebinske kontrole (3R kontrola (fotogrametrična kontrola zajema) in 2R kontrola) in
- kontrolo stikov.

Podatki hidrografije in vodnih zemljišč so bili v okviru masovnega zajema zajeti v 6 vektorskih datotek (preglednica 1).

*Preglednica 1: Datoteke, v katere so organizirani podatki masovnega zajema.*

		hidrografija			dejanska raba
1 točkovni	2 linijski PV	3 linijski	4 ploskovni PV	5 ploskovni	6 dejanska raba – VZ

V skladu z objektnim katalogom je bilo zajetih 5 osnovnih objektnih tipov, od katerih ima vsak več podtipov (preglednica 2).

Relevantni hidrografski prostorski objekti so bili zajeti v skladu z objektnim katalogom in podrobnimi pravili za zajem. V nadaljevanju je navedenih nekaj osnovnih kriterijev, po katerih so bili zajeti podatki v okviru masovnega zajema:

- podatki ustrezajo natančnosti in podrobnosti karte 1 : 5000,
- minimalna površina stoječe vode, ki je predmet zajema, je 150 m<sup>2</sup>,
- minimalna širina tekoče vode, ki je predmet zajema, je 1 m,
- zahtevana položajna in višinska točnost zajema je  $\pm 1$  m (RMSE),
- v vseh vozliščih mora biti zagotovljeno 3R ujemanje koordinat (3D *snap*),
- linijska geometrija objektnih tipov »tekoča voda«, »prehod« in »nasip« se zajema v smeri vodnega toka dolvodno,
- Z koordinata lomnih točk linije tekoče vode mora v smeri vodnega toka padati,
- tekoče vode širine do 2 m se zajema kot linijo, tekoče vode široke 2 m in več se zajame kot linijo in ploskev.

## 4 Možnosti uporabe zajetih podatkov

Zajem podatkov zgolj po topografskih načelih za nadaljnjo uporabo ne zadošča. Za celovito uporabo podatkov bo potrebna nadaljnja interpretacija hidrografske stroke. Čeprav uporabljene metode

Preglednica 2: Objektni tipi z vrstami geometrije (*t* – točka, *l* – linija, *p* – ploskev), ki je bila predmet zajema.

hidrografija				dejanska raba
tekoča voda	stoječa voda	grajeni objekti	ostali objekti	dejanska raba – VZ
struga vodnega toka (l, p)	jezero (p)	prehod – akvadukt (l, p)	slap (t, l)	vodotok (p)
kanal (l, p)	bajer, kal, mlaka, loka (p)	prehod – most (l, p)	izvir (t)	nasip (p)
akumulacijsko jezero (l, p)	rekreacijski bazen (p)	prehod – prepust (l, p)	ponor (t)	jezero ali vodni zbiralnik (p)
obcestni jarek (l)	industrijski bazen (p)	prehod – sifon (l, p)	brzice (p)	morje (p)
melioracijski jarek (l, p)	vodni zbiralnik (p)	prehod – pokritje (l, p)	mokrotna zemljišča (p)	ostalo (p)
	soline (p)	jez (t, l, p)	morje (p)	
	mrtvi rečni rokav (p)	zapornica (t, l, p)	prodišče (p)	
		stopnja (t, l)		
		hidroelektrarna (t)		
		obalna konstrukcija (p)		
		brod (l, p)		
		nasip (l)		

v poglavju 3 omogočajo vse bolj natančen zajem podatkov, so metode daljinskega zaznavanja pri interpretaciji omejene. Če lahko meje vodnih objektov izurjen interpretator topografskega vira, glede na vidne morfološke spremembe v naravi, še prepozna, pa je za določitev vplivnih območij voda, ki obsegajo vodna zemljišča, nujna naknadna interpretacija strokovnjakov vodarske stroke. Šele po tovrstni potrditvi, so lahko podatki primerni za vse oblike uporabe.

## 5 Sklep

Potreba po podrobnih, natančnih in vsebinsko usklajenih vektorskih podatkih, ki so zajeti s sodobnimi tehnologijami daljinskega zaznavanja (digitalni letalski in satelitski posnetki, lidar), je med različnimi uporabniki vedno večja. Izvedba fotogrametričnega masovnega zajema podatkov hidrografije in vodnih zemljišč je pomemben korak v razvoju in pridobivanju kakovostnih ter ažurnih prostorskih podatkov. Želeli bi, da se na podobnem način razmisli tudi o nadgradnji ostalih topografskih slojev v državni topografski bazi.

## 6 Viri in literatura

- Breg Valjavec, M., Ribeiro, D. 2014: Uporabnost zgodovinskih aeroposnetkov pri preučevanju pokrajinskih sprememb na ozemlju Slovenije. Digitalni prostor, GIS v Sloveniji 12. Ljubljana.
- Izdelava metodologije in tehnološke rešitve za obnovo podatkov o vodah v DTK5 in hkratni zajem podatkov o dejanski rabi vodnih zemljišč. Tehnično poročilo, Geodetski inštitut Slovenije. Ljubljana, 2011.
- Kraus, K. 2000: Photogrammetrie. Köln.
- Medmrežje 1: [http://www.mop.gov.si/index.php?id=1333&tx\\_ttnews\[tt\\_news\]=5960&tx\\_ttnews\[backPid\]=12029&L=0&no\\_cache=1](http://www.mop.gov.si/index.php?id=1333&tx_ttnews[tt_news]=5960&tx_ttnews[backPid]=12029&L=0&no_cache=1) (24. 5. 2016).
- Metodologija za določitev vodnih zemljišč in gospodarjenje z njimi. Poročilo C-261, Vodnogospodarski inštitut. Ljubljana, 1994.
- Metodologija za določitev vodnih zemljišč v Sloveniji na različnih tipih vodotokov. Poročilo C-331, Vodnogospodarski inštitut. Ljubljana, 1995.
- Mikoš, M. 1994: Vodni prostor v luči novega zakona o vodah. Mišičev vodarski dan. Maribor.
- Mikoš, M. 1995a: Položaj vodnega dobra v zemljiškem katastru. Geodetski vestnik 39-2.
- Mikoš, M. 1995b: Osnove za določitev vodnega prostora – hidrotehnični vidik. Vode in varstvo narave: gospodarjenje z vodami in vodnim prostorom. Ljubljana.
- Navodila za zajem topografskih podatkov, verzija 1.0. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2015.
- Petrovič, D., Podobnikar, T., Grigillo, D., Kozmus Trajkovski, K., Vrečko, A., Urbančič, T., Kosmatin Fras, M. 2011: Kaj pa topografija? Stanje in kakovost topografskih podatkov v Sloveniji. Geodetski vestnik 55-2. DOI: <http://dx.doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2011.02.304-318>
- Pravilnik o podrobnejšem načinu določanja meje vodnega zemljišča tekočih voda. Uradni list Republike Slovenije 129/2006. Ljubljana.
- Prostor, prostorski portal. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2016. Medmrežje: <http://www.e-prostor.gov.si/> (10. 3. 2016).
- Zakon o vodah. Uradni list Republike Slovenije 67/2002. Ljubljana.

# RAZVOJ METODOLOGIJE IN ORODJA ZA IZDELAVO PRILAGOJENE TRIKOTNIŠKE MREŽE BATIMETRIJE STRUGE KOT PODLAGE ZA HIDRAVLIČNO MODELIRANJE

Mag. Timotej Mišič

Vodnogospodarski biro Maribor, d. o. o.

mistic@vgb.si

UDK: 528:627.152

## IZVLEČEK

### **Razvoj metodologije in orodja za izdelavo prilagojene trikotniške mreže batimetrije struge kot podlage za hidravlično modeliranje**

Cilj prispevka je bil izdelava digitalnega modela reliefa (DMR) struge na podlagi razpršenih batimetričnih točk za namen dvodimenzijskega hidravličnega modeliranja. Triangulacija batimetričnega posnetka po Delaunayevih zahtevah in brez prilagoditve trikotniške mreže ne tvori zadovoljive trikotniške mreže. Triangulacijo je bilo treba prilagoditi posebnim morfološkim razmeram v rečni strugi. V ta namen smo sestavili metodologijo in na njej temelječe orodje v okolju ArcGIS, ki izdelava prilagojeno trikotniško mrežo, ta pa »prisili« triangulacijski algoritem k primernejšemu trianguliranju točk na območju rečne struge. V postopku smo izvedli zgostitev (interpolacijo) sonarsko merjenih batimetričnih točk. Postopek se sestoji iz sedmih korakov: (i) izdelava 3R poliliniij iz posnetih batimetričnih točk, (ii) izdelava prečnih osi pravokotno na tok reke, (iii) izdelava točk vzdolž prečnih osi na enakomerni razdalji, (iv) izdelava vzdolžnih 2R poliliniij skozi te točke, (v) izdelava presečnih točk vzdolžnih 2R poliliniij s 3R poliliniijo batimetričnega posnetka, (vi) linearna interpolacija 2R poliliniij na presečne 3R točke, (vii) izdelava nove trikotniške mreže.

## KLJUČNE BESEDE

digitalni model reliefa struge, hidravlično modeliranje, triangulacija, modeliranje terena, lidar, prilagojena trikotniška mreža rečne struge

## ABSTRACT

### **Development and implementation of a methodology for generation of triangle mesh adapted to waterbodies as a basis for hydraulic modelling**

The aim of this article was to generate a digital terrain model of a riverbed based on scattered bathymetric data points for the purpose of 2D hydraulic modelling. Triangulation of bathymetric data based on Delaunay constraints and without any adaptation of triangle mesh produces suboptimal results. It was necessary to adapt the triangulation to the specific morphological situation in a riverbed. To address this issue a methodology and a tool in ArcGIS environment were constructed to generate an adjusted triangle mesh, which »forces« the triangulation algorithm to construct a more appropriate triangle mesh of a riverbed. In the procedure seven steps have been applied: (i) generation of 3D polylines from measured bathymetric points, (ii) generation of transverse axes to the river flow direction, (iii) generation of 2D points along the transverse axes in regular distance, (iv) generation of 2D polylines in longitudinal direction of river flow connecting these points, (v) generation of 3D intersection points of the longitudinal 2D polylines and 3D polylines from measured bathymetric points, (vi) linear interpolation of longitudinal 2D polylines to the 3D intersection points, (vii) generation of a new triangle mesh.

## KEY WORDS

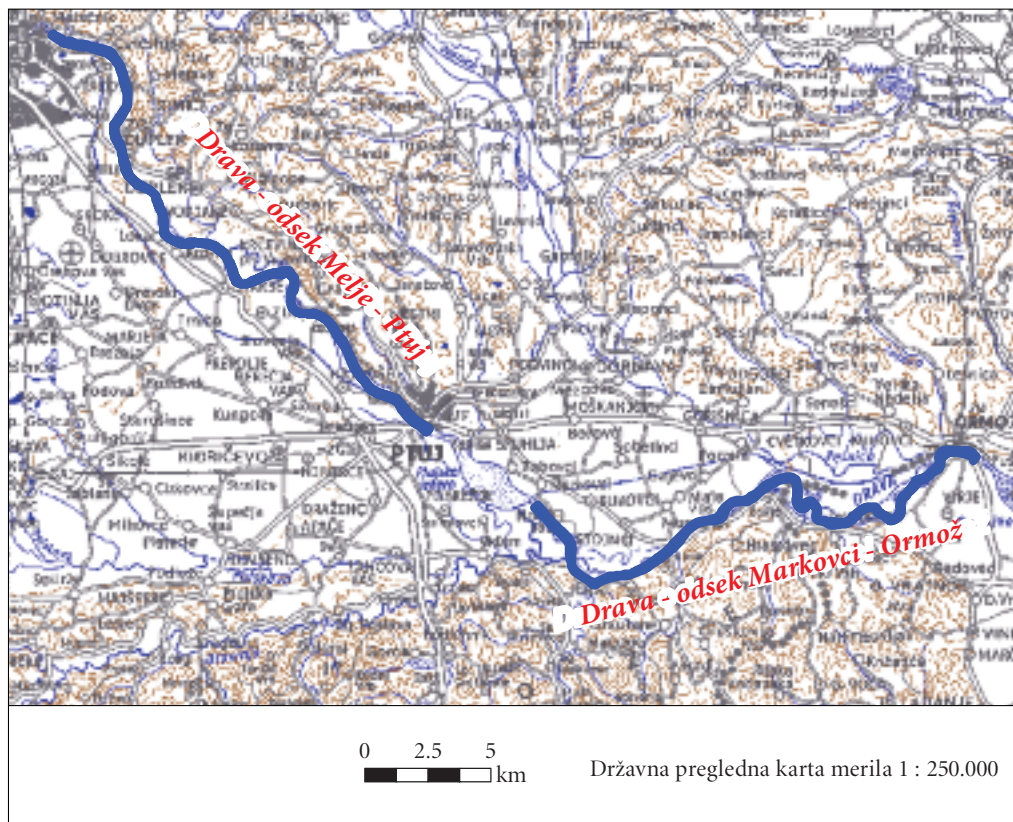
digital terrain model of water bodies, hydraulic modelling, triangulation, terrain modelling, LIDAR, adapted triangle mesh

## 1 Uvod

V okviru projekta »Obnova rečnega ekosistema nižinskega dela Drave v Sloveniji« (LIVEDRAVA; medmrežje 1), se izvaja tudi hidravlična analiza reke Drave med Meljem in Zavrčem z modeliranjem poplav in prenosom sedimentov. Ločeno se obravnava dva odseka: 1) med Meljem (jez v Melju) in Ptujem (sotočje Drave in kanala HE Zlatoličje) ter 2) med Markovci (jez na Ptujskem jezeru) in Ormožem (most čez Dravo) (slika 1). Za namen hidravličnega modeliranja je spodnji odsek podaljšan do Ormoža, kjer so robni pogoji za model bolje poznani.

Poseben izziv v pripravi vhodnih terenskih podatkov za 2R hidravlični model predstavlja ustrezna integracija batimetričnih podatkov v posnetek zračnega laserskega skeniranja (lidar). S klasičnim zračnim laserskim skeniranjem ni mogoče prodreti globlje kot nekaj cm v vodno telo vodotoka. S tega razloga je bilo ob lidarskem snemanju naročeno tudi batimetrično snemanje dela dna struge z enosopnim (angl. *single beam*) sonarjem. Snemanje se je izvedlo s čolnom, ki v vijugah pluje po strugi (slika 2). Na plitvih delih struge, kjer s čolnom ni bilo mogoče pluti, je bil dodatno izveden klasični tahimetrični zajem točk.

Model reliefa je osnovni vhodni podatek za postavitvev 2R hidravličnega modela. Kopni deli modela reliefa so sestavljeni iz digitalnega modela reliefa z velikostjo celice 1 m (DMV1), dobljenega na podlagi lidarskih podatkov. Sama struga ali natančneje njen omočeni del pa temelji na podatkih batimetričnega posnetka, opisanega zgoraj.



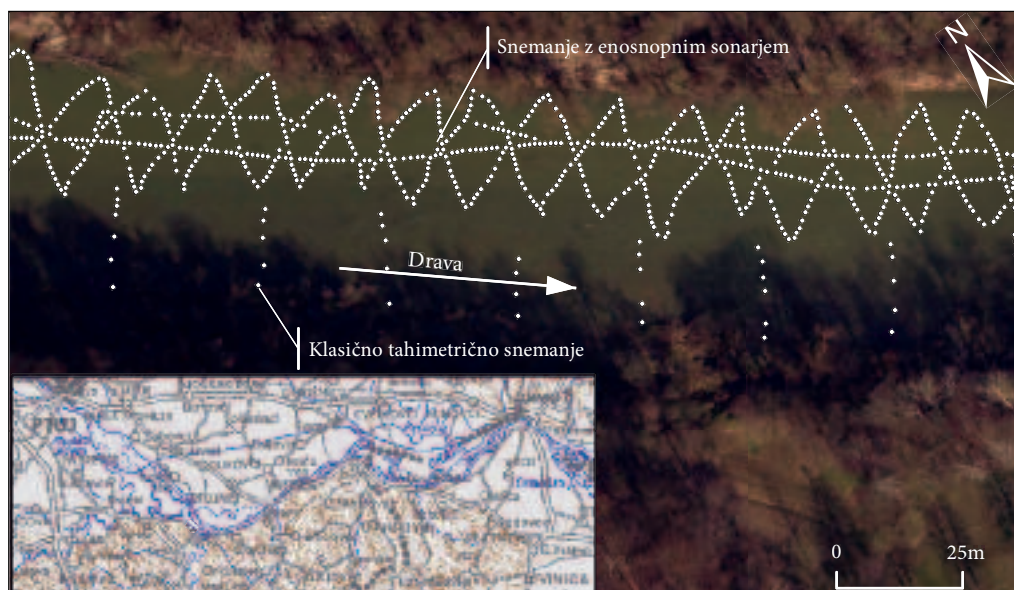
Slika 1: Pregledni zemljevid obravnavanih odsekov Drave.

## 2 Opis problema

Zaradi hidromorfni procesov ima rečna struga določeno specifiko. Višinsko so si točke v strugi v vzdolžni smeri mnogo bolj podobne kot v prečni. Vzdolžni nakloni, ki pri vodotokih, kot je Drava na obravnavanem odseku, znašajo največ nekaj promilov, so v primerjavi z nakloni v prečni smeri, ki se merijo v odstotkih, bistveno manjši. Trikotniška mreža, ki najbolje opisuje rečno dno, ima trikotnike, katerih stranice so v vzdolžni smeri čim daljše, v prečni smeri pa čim krajše glede na vzdolžno os struge. Takšna mreža je povsem nasprotna Delaunayevi zahtevi triangulacije, kjer se koti znotraj trikotnikov, ki jih tvori triangulacijski algoritem, po možnosti maksimirajo. Idealni primer takšne triangulacije je enakostranični trikotnik s koti  $60^\circ$  med stranicami trikotnika. Delaunayeva zahteva triangulacije je implementirana v večini programskih paketov GIS in CAD in je primerna za večino zemljišč, vendar predstavlja rečna struga določeno posebnost.

Slika 3 prikazuje model reliefa na podlagi Delaunayeve triangulacije, kjer so bile na območju struge točke lidarja zamenjane s točkami batimetričnega posnetka. Podatke lidarja predstavlja DMV1 (digitalni model višin s celico 1 m), batimetrične podatke pa sonarska izmera s podpornimi izmerami (plitva voda). Na sliki 3 je prikazana tipična trikotniška mreža, ki je izdelana po Delaunayevih omejitvah s standardnim GIS-orodjem (*ArcGIS*). Triangulacija tvori na nekaterih mestih neugodne trikotniške povezave, kot na primer ustvarjanje ploskev med zavoji sonarskega snemanja (slika 3, zelene puščice).

Drugi pojav, pogojen z metodo snemanja, je neenakomerna prostorska razporeditev posnetih točk v strugi. Na sami plovni poti čolna so točke na razdalji 0,3 m, med zavoji plovne linije so točke oddaljene od 5 do 15 m, na območju plitvejših delov struge pa so klasično posnete točke na medsebojni razdalji od 10 do 25 m. Strugo obdaja posnetek lidar, natančneje iz njega izpeljan DMV1. Posledično prihajana robnih delih struge do triangulacije »redkih« batimetričnih točk z »gostimi« točkami lidarja, kar ima za posledico »pahljačasto« obliko trikotniških robov, ki potekajo proti obema bregovoma v prečni smeri



Slika 2: Prikaz različnih načinov sonarskega snemanja na strugi Drave. Snemanje se je izvedlo s čolnom, v vijugah, na delih struge, kjer je zadostna globina vode za plutje. Klasično tahimetrično snemanje se je izvedlo pravokotno na tok reke.

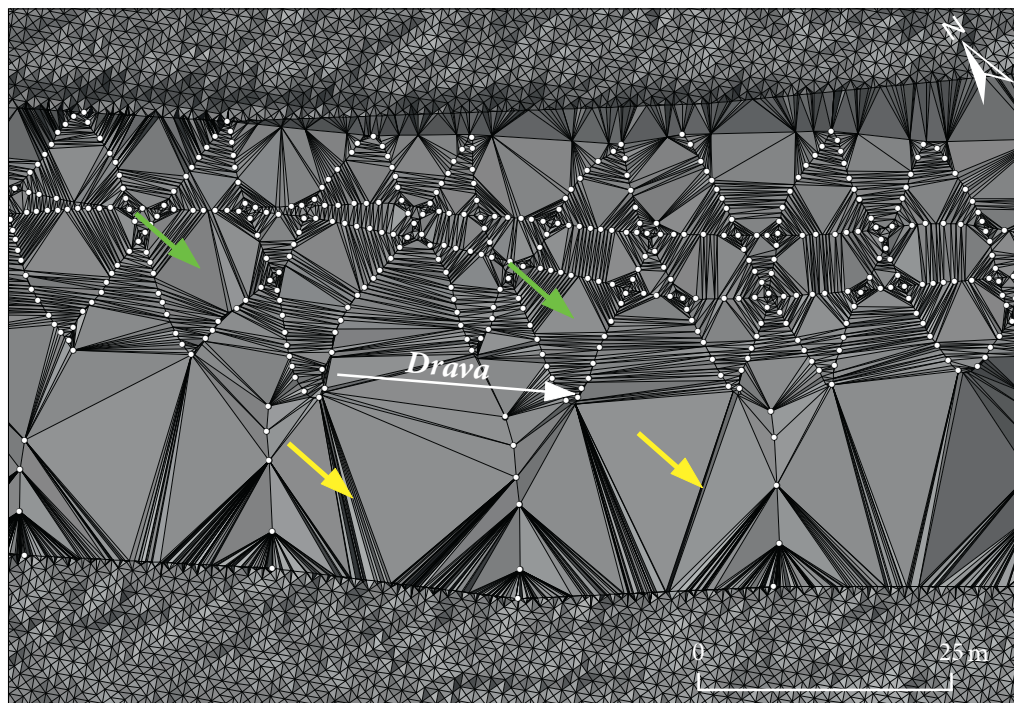
struge (slika 3, rumene puščice). Prav tako neugoden pojav je povezovanje točk v sredini struge neposredno z brežino (slika 3, rumene puščice). Treba je poudariti, da pri takšnih izhodiščnih pogojih, to je takšni prostorski razporeditvi točk in takšnih razlikah v njihovi gostoti, tudi algoritem, ki bi minimiziral po en kot vsakega trikotnika v mreži, ne bi rešil te težave, saj je enako pomembna komponenta tudi orientacija trikotnikov, to pomeni, da so daljše stranice usmerjene v vzdolžni smeri (smeri tokovnic vode).

Iz zgoraj navedenih razlogov so potrebne prilagoditve trikotniške mreže na območju struge.

Žal v standardnih programskih paketih, tako z GIS področja kot tudi s področja tehničnega risanja (CAD), ni vnaprej pripravljene programske rešitve (angl. *out of the box*) za takšen problem. Rešitve obstajajo le za izračun trikotniške mreže na podlagi izmerjenih prečnih prerezov struge. Primer takšne programske opreme je na primer *Gecko-2R* (medmrežje 2) ali *SMS* (medmrežje 3). Programsko že implementirane in dostopne rešitve za izdelavo trikotniške mreže struge za razpršene batimetrične točke po vedenju avtorja ne obstajajo.

### 3 Cilji

Cilj je bil izdelava digitalnega modela reliefa (DMR) struge za namen dvodimenzijskega hidravličnega modeliranja. Zaradi zgoraj opisane problematike, je bilo treba prilagoditi triangulacijo razmeram v rečni strugi. V ta namen smo izdelali orodje v okolju *ArcGIS*, ki izdelava prilagojeno trikotniško mrežo, ta pa »prisili«  
triangulacijski algoritem k primernejšemu trianguliranju točk na območju rečne struge in v veliki meri prepreči suboptimalno triangulacijo, opisano zgoraj. Takšna triangulacija daje bistveno bolj realistične rezultate.



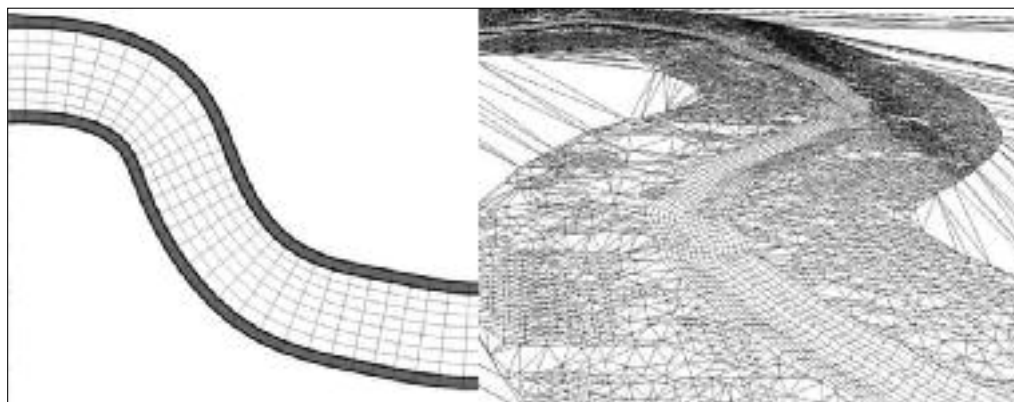
Slika 3: Neugodni »pojavi«  
pri Delaunayevi triangulaciji in brez prilagoditve trikotniške mreže.

## 4 Metodologija

V literaturi je opisanih več pristopov oblikovanja DMR struge (navedeni v nadaljevanju poglavja), vendar ti temeljijo na snemanju prečnih prereзов in ne na snemanju razpršenih batimetričnih točk.

V grobem lahko ločimo izdelavo trikotniške mreže struge na podlagi dveh vrst interpolacij: interpolacije na podlagi matematičnih krivulj in linearne interpolacije. Kot primer programske opreme, ki ima implementirano interpolacijo na podlagi krivulj, je programski paket *MIKE*, natančneje modul *MIKE 21C* danskega podjetja DHI (slika 4, levo). Model uporablja krivočrtni koordinatni sistem, ki se generira na podlagi eliptičnih diferencialnih enačb.

Interpolacijo merjenih prečnih prereзов s trirazsežnostnimi spline krivuljami je predstavil Flanagan s sodelavci (2005), tako imenovani *hydraulic spline* (slika 4, desno). Njihovo metodo so za samo izdelavo geometrije struge uporabili tudi Mandlbürger in sodelavci (2009). Schäppi in sodelavci (2010) so oblikovali model struge na podlagi prečnih prereзов z bilinearno interpolacijo in lomnimi črtami. Enega redkih v literaturi najdenih primerov interpolacije na podlagi razpršenih batimetričnih podatkov je uporabil Merwade (2004). Po tem postopku se merjene batimetrične točke pretvori v krivočrtni koordinatni sistem z relativnimi koordinatami točk glede na stacionažo vzdolžne osi vodotoka in oddaljenost od nje; višinska vrednost se pri tem ohrani ( $s, n, z$ ). V naslednjem koraku izdela na podlagi teh točk z anizotropno interpolacijsko metodo inverzne razdalje (angl. *elliptical IDW*) rastrsko površino, na katero projicira pravokotno linijsko mrežo (angl. *FishNet*). Postopek mrežo in točke pretvori nazaj v kartezični koordinatni sistem ( $x, y, z$ ) in izdela tako prilagojeno triangulacijsko mrežo struge. Pomanjkljivost te metode je, da ni primerna za struge s prodišči (otoki), ki so na obravnavanem odseku Drave prisotna. Ustvarjanje DMR-ja struge s prečno in vzdolžno linearno interpolacijo merjenih prečnih prereзов je predstavil Vetter s sodelavci (2008). Na tej metodi temelji tudi v tem prispevku predstavljeno ustvarjanje prilagojene trikotniške mreže. posebnost predstavljenega primera je batimetrični posnetek z razpršenimi točkami. Pri izdelavi mreže je uporabljena linearna interpolacija kot pri Vetteru in sodelavcih (2008), vendar se širina mreže zvezno prilagaja širini struge, ker to omogoča posnetek batimetrije z razpršenimi točkami. Pri batimetriji v obliki prečnih prereзов se širina struge lahko le linearno interpolira med posameznimi prerezi, ki so pogosto daleč narazen (50–100 m).



Slika 4: Interpolacija na podlagi krivočrtnega koordinatnega sistema (levo). Interpolacija z zleпки (Flanagan s sodelavci 2005).



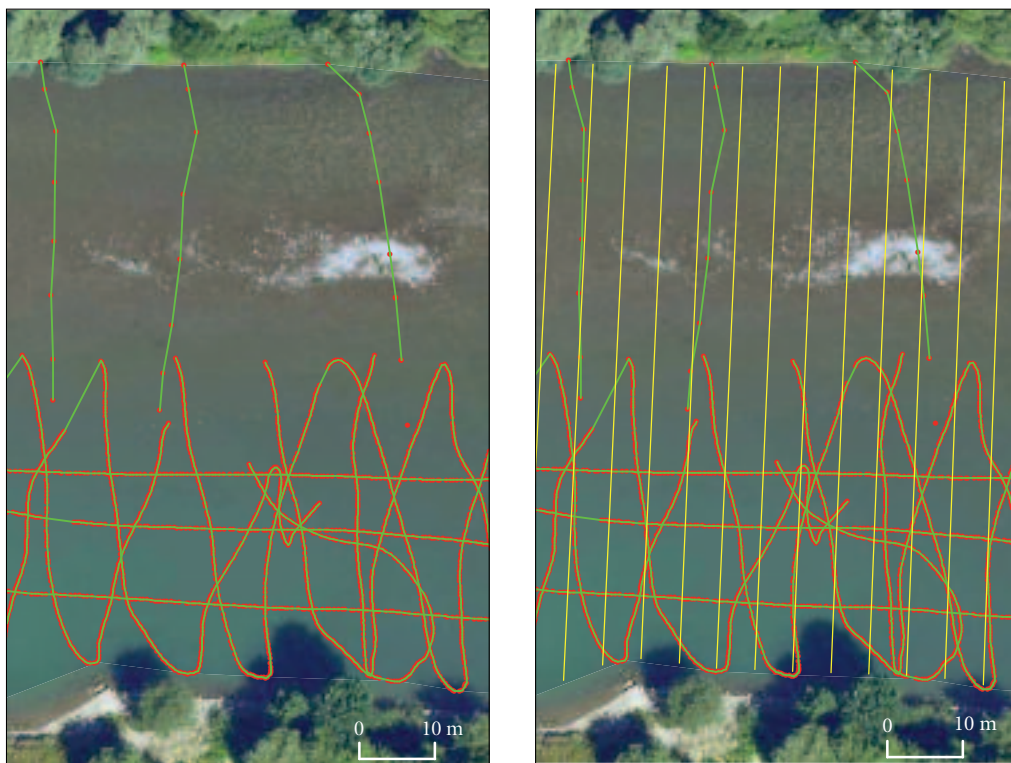
Metoda poteka po naslednjih korakih:

- *Korak 1: izdelava 3R polilinj iz posnetih točk*

Merjene batimetrične točke se povežejo v 3R polilinjijo, okoli polilinjij se ustvari obodni poligon, ki predstavlja območje struge. Merjene točke so navadno v datotekah shranjene zaporedno po času posnetka, zato lahko povezovanje točk poteka do neke mere avtomatsko, potrebni so le manjši popravki (slika 5, levo).

- *Korak 2: izdelava prečnih osi*

Pravokotno na vzdolžno os vodotoka se ustvari poljubno število prečnih osi (slika 5, desno). Prečne osi so namenjene predvsem pravilnemu modeliranju širine struge, kjer se ta spreminja, in pravilnemu prikazu delov struge, kjer ta vijuga. Medsebojna razdalja prečnih osi se zato prilagodi variabilnosti širin struge ter vzdolžni ukrivljenosti struge. Prečne osi se porežejo na robovih obodnega poligona.



Slika 5: Levo: izdelava 3R polilinjij (zeleno barva) iz posnetih točk (rdeča barva). Desno: izdelava prečnih osi (rumena barva).

- *Korak 3: izdelava točk vzdolž prečnih osi*

Vzdolž prečnih osi se ustvari  $n$ -število točk z višino  $z = 0$  (slika 6, levo). Točke ležijo glede na vsakokratno dolžino prečne osi na enakomerni medsebojni razdalji  $l$ :

$$l = L/(n - 1),$$

kjer je:

$l$  – razdalja med posameznimi točkami,

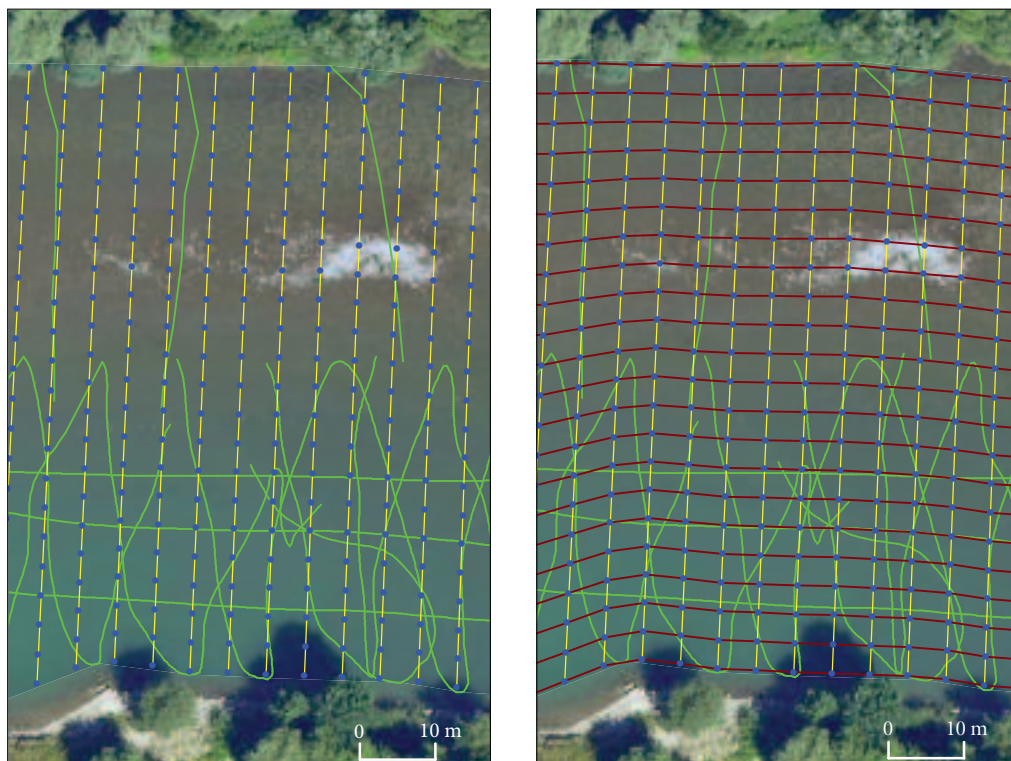
$L$  – dolžina posamezne prečne osi,

$n$  – število točk vzdolž prečne osi.

S takšno razporeditvijo točk je mogoče prilagajanje trikotniške mreže vzdolž struge spreminjanju širine struge. Število točk določa gostoto poznejše trikotniške mreže. Število točk je smiselno prilagoditi predvsem gostoti točk posnetka batimetrije (medsebojni oddaljenosti snemanih točk) ter širini struge.

• *Korak 4: izdelava vzdolžnih linij*

Na podlagi točk, ustvarjenih vzdolž vsake prečne osi, se v vzdolžni smeri izdelava  $n$ -število 2R polilinj, ki linearno povezujejo točke iste serije (slika 6, desno).



Slika 6: Levo: izdelava točk (modra barva) vzdolž prečnih osi. Desno: izdelava vzdolžnih linij (rdeča barva).

• *Korak 5: izdelava presečnih točk vzdolžnih linij s 3R polilinijo batimetričnega posnetka*

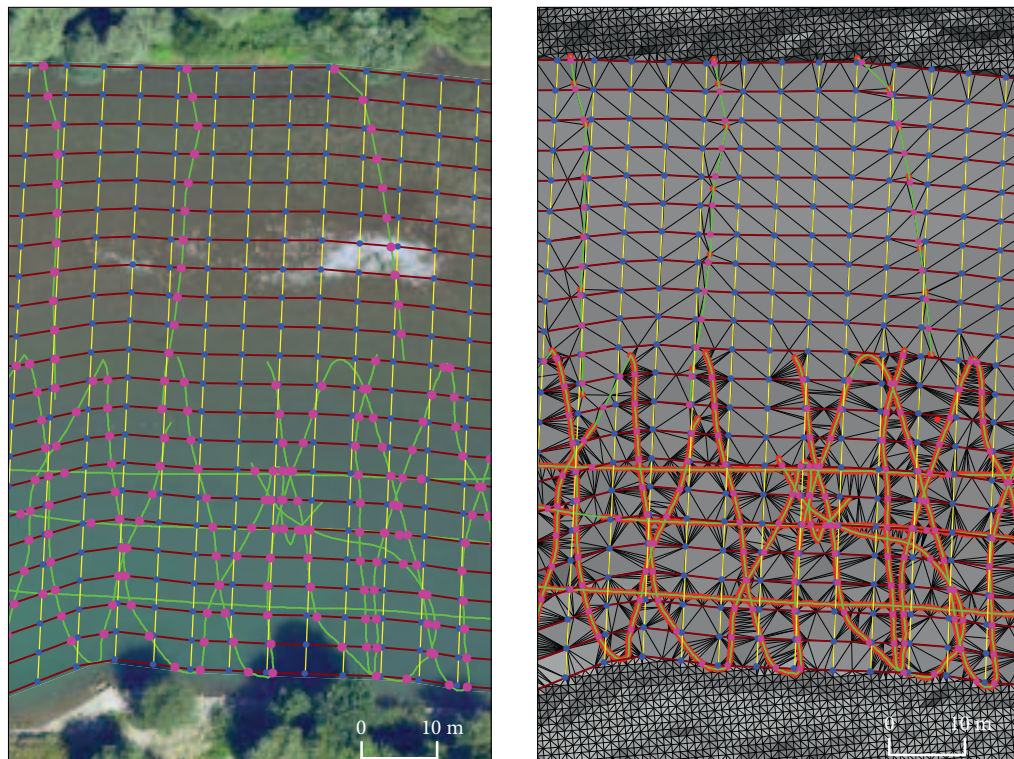
V tem koraku se izvede presek med 2R polilinjami mreže in 3R polilinijo (opisana v koraku 1) batimetričnega posnetka. S presekom dobimo 3R točke, ki so oporne točke za kasnejšo interpolacijo (slika 7, levo).

- *Korak 6: linearna interpolacija 2R polilinj na presečne 3R točke*

2R polilinije, ustvarjene v koraku 4, se na podlagi presečnih točk (korak 5) linearno interpolirajo v 3R polilinije.

- *Korak 7: izdelava trikotniške mreže*

V zadnjem koraku se v lidarskem posnetku zamenja originalne točke z zgoraj ustvarjenimi 3R polilinijami ter s snemanimi batimetričnimi točkami (slika 7, desno). Na območju struge se tako izdelata lastna trikotniška mreža, pri čemer so 3R polilinije vključene v triangulacijo kot lomne črte (angl. *hard breaklines*).



Slika 7: Levo: izdelava presečnih točk vzdolžnih linij s 3R polilinijo batimetričnega posnetka (magenta barva). Desno: izdelava trikotniške mreže (tanka črna linija).

## 5 Rezultati

Rezultat triangulacije smo s pomočjo ustvarjene mreže primerjali z Delaunayevno triangulacijo. Žal iz časovnih razlogov ni bilo mogoče testiranje v hidravličnem modelu (hidravlični izračuni so v času oddaje prispevka še potekali).

Vizualna primerjava kaže, da je relief struge s prilagojeno trikotniško mrežo gladek, brez ostrih robov in brez daljših prečnih triangulacijskih linij. Po vizualni oceni je takšna trikotniška mreža struge bližje naravnemu reliefu struge (slika 8 – prikaz obeh modelov ima popačene višinske vrednosti, da pridejo razlike med triangulacijama bolj do izraza).



Slika 8: Levo: trikotniška mreža z Delaunayevovo triangulacijo. Desno: trikotniška mreža s prilagojeno trikotniško mrežo.

## 6 Izdelava orodja in implementacija

Opisana metodologija izdelave trikotniške mreže ni vključena v standardne CAD in GIS programske pakete, zato smo celoten postopek s programskim jezikom *Python*<sup>TM</sup> zapisali v skript (koraki 3 do 7), ki se izvaja v okolju *ArcGIS*.

Preglednica 1 prikazuje nekaj značilnosti obravnavanih odsekov ter rezultate uporabe orodja.

Preglednica 1: Značilnosti obravnavanih odsekov Drave.

	Melje (jez) – Ptuj (sotočje s kanalom HE Zlatoličje)	Markovci (jez) – Ormož (most)
dolžina odseka	25 km	25 km
povprečna širina struge	75 m	68 m
minimalna širina struge	13 m	14 m
maksimalna širina struge	184 m	165 m
mediana širine struge	74 m	42 m
število prečnih osi	6145	4911
razdalja med prečnimi osmi	4 m	5 m
število točk/prečno os	22	22
računski čas	40 h 39 min	21 h 28 min
število novo ustvarjenih točk	331361	181974
računski čas/točko	4/10 s	4/10 s

## 7 Sklep in nadaljnje delo

Ocenjujemo, da je rezultat izdelane trikotniške mreže na podlagi predstavljene metode bližje dejanskemu reliefu struge. Posledično so rezultati hidravličnega modela bolj realni, uporabiti je mogoče bolj »realne« vrednosti kalibracijskih parametrov, s čimer je model bolj robusten.

Za potrditev teze o večji točnosti vhodnih reliefnih podatkov na podlagi opisane metode izdelave trikotniške mreže, je v prihodnje treba izdelati dva hidravlična modela, enega z vhodnimi terenskimi

podatki s klasično Delaunayevovo trikotniško mrežo in drugega z izdelano trikotniško mrežo. Po umerjanju obeh modelov bo mogoče rezultate primerjati z merjenimi vrednostmi v naravi ter primerjati tudi uporabljene kalibracijske parametre.

## 8 Viri in literatura

- Flanagin, M., Grenotton, A., Ratcliff, J., Abdelguerfi, M., Shaw, K. 2005: Automated terrain generation using LIDAR and waterbody survey data. Proceedings of the 2005 ACM Symposium on Applied Computing. New York
- Mandlbürger, G., Höfle, B., Briese, C., Ressel, C., Otepka, J., Hollaus, M., Pfeifer, N. 2009: Topographische Daten aus Laserscanning als Grundlage für Hydrologie und Wasserwirtschaft. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 61-7. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00506-009-0095-3>
- Medmrežje 1: <http://livedrava.ptice.si/domov/o-projektu/opis/> (24. 5. 2016).
- Medmrežje 2: <http://www.iwud.de/pages/software-gew.html> (9. 2. 2016).
- Medmrežje 3: <http://www.aquaveo.com/software/sms-surface-water-modeling-system-introduction> (9. 2. 2016).
- Merwade, V. M. 2004: Geospatial Description of River Channels in Three Dimensions. Doktorsko delo, University of Texas at Austin. Austin. Medmrežje: <http://www.crrw.utexas.edu/reports/pdf/2004/rtp04-08.pdf> (23. 3. 2016).
- Schäppi, B., Perona, P., Schneider, P., Burlando, P. 2010: Integrating river cross section measurements with digital terrain models for improved flow modelling applications. Computers and Geosciences 36-6. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2009.12.004>
- Vetter, M., Höfle, B., Mandlbürger, G., Rutzinger, M. 2008: Ableitung von Flusssohlenmodellen aus Flussquerprofilen und Integration in Airborne Laserscanning Geländemodelle mit GRASS GIS. Salzburg.

# VPLIV PORABE VODE IN PODNEBNIH SPREMEMB NA RAZPOLOŽLJIVOST VODNIH VIROV V JUGOVZHODNI EVROPI

**dr. Timotej Verbovšek, dr. Petra Vrhovnik, dr. Barbara Čenčur Curk**

Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani

timotej.verbovsek@ntf.uni-lj.si, petra.vrhovnik@gmail.com, barbara.cencur@ntf.uni-lj.si

**Margarit Nistor**

Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia

mircea-margarit.nistor@unimore.it

UDK: 556:551.583(4-12)

## IZVLEČEK

**Vpliv porabe vode in podnebnih sprememb na razpoložljivost vodnih virov v jugovzhodni Evropi**

Razpoložljivost vodnih virov je odvisna od padavin in evapotranspiracije. V sklopu evropskega projekta CC-WARE so bile na območju jugovzhodne Evrope izdelane analize in napovedi za tri časovna obdobja (preteklo- referenčno, sedanje, prihodnje). Uporabljeni so bili podatki o padavinah, evapotranspiraciji in porabi vode, iz teh pa določen indeks izkoriščenosti vode. Rezultati kažejo, da bo najmanj padavin v južnem Sredozemlju, prostorski raspored padavin pa ni odvisen od obdobja. V prihodnosti bo več padavin v alpskem delu regije, zmanjšanje je predvideno v Padski nižini in v južnih delih regije. Obratno velja za evapotranspiracijo. Večja poraba vode je predvidena v severnih delih regije zaradi večjih potreb industrije ter na jugu zaradi intenzivne porabe v kmetijstvu. Precejšen del preučevanega območja je v visokem razredu indeksa izkoriščenosti vode.

## KLJUČNE BESEDE

vodni viri, podnebne spremembe, CC-WARE, jugovzhodna Evropa

## ABSTRACT

**Influence of water demand and climate changes on water availability in south-eastern Europe**

Availability of water resources depends on precipitation rate and evapotranspiration. Analyses in the scope of EU SEE project CC-WARE have been performed in south-eastern Europe, for three periods. We have used data of precipitation, evapotranspiration and water demand, and from these calculated the local water availability index. Results show that the lowest amount of precipitation will be in the south Mediterranean, and that spatial distribution of the precipitation does not depend on the studied period. More rainfall will fall in the future in the Alpine region, and decreasing amount in southern parts of the studied area and in the Po Plain. Opposite conclusions can be made for the evapotranspiration. Higher water demand is predicted for northern regions due to industry demand and in the southern regions due to agricultural demand. Much of the studied area lies in the very high class of the local water availability index.

## KEY WORDS

water resources, climate changes, CC-WARE, south-eastern Europe

## 1 Uvod

Razpoložljivost vodnih virov je odvisna od napajanja vodonosnikov, na to pa vplivata količina padavin in evapotranspiracija. Iz zadnjega poročila Medvladnega panela za podnebne spremembe je razvidno, da scenariji podnebnih sprememb kažejo na povišanje temperatur v prihodnosti (posledično tudi na evaporacijo), količina padavin pa kaže tako pozitivne kot negativne trende na različnih območjih Zemlje (IPCC 2014). Vplivi na hidrološki krog in odtoke so zapleteni in ne kažejo enostavnih trendov (Millán 2014; Fatichia s sodelavci 2015), načeloma pa naj bi se intenzivnost kroženja vod povečala (Harding s sodelavci 2014). Poleg tega se bosta v prihodnosti spreminjala tudi raba tal in število prebivalstva. Ti dejavniki predstavljajo izziv pri napovedovanju količin vode za pitje, industrijo in namakanje.

V obdobju od 2012–2014 je potekal mednarodni evropski projekt *CC-WARE* (medmrežje 1) v sklopu programa *South East Europe* (SEE), namenjen oblikovanju mednarodne strategije za varovanje vodnih virov. V prispevku so predstavljene glavne ugotovitve projekta, ki se navezujejo na količinsko stanje podzemne vode.

Podnebne spremembe bodo vplivale na količinsko stanje voda, predvsem na razpoložljivost vodnih virov in pogostost pojavljanja poplav (Milly s sodelavci 2008). Posredno bodo te spremembe vplivale na socialne in ekonomske razmere (Pilling in Jones 1999; Arnell 2014). Problematika in posledično izziv je v tem, kako upravljati z vodnimi viri in ostalimi vplivnimi dejavniki, da se količinsko ter kakovostno stanje površinskih in podzemnih vod v prihodnosti ne bo poslabšalo. Število prebivalcev na svetu narašča, s tem pa tudi potrebe po večji porabi vode za osebne namene, industrijo ter kmetijske dejavnosti (Ludwig, van Slobbe in Cofino 2014). Po nekaterih ocenah naj bi se poraba vode do leta 2035 povečala kar za dvakrat glede na stanje pred približno enim desetletjem (Tidwell s sodelavci 2004), čeprav je vloga podnebnih sprememb na količine vodnih virov še vedno nejasna (Van Vilet s sodelavci 2013). Velja ocena, da bo v prihodnosti veliko prebivalcev (dve tretjini) prizadetih zaradi pomanjkanja vode (Alcamo s sodelavci 1997; Seckler s sodelavci 1998; Rijsberman 2006). Prvi korak k reševanju te problematike je, da se prepozna problematična območja, kjer bo primanjkovalo vode glede na različne scenarije sprememb v porabi vode in podnebnih sprememb.

## 2 Metode dela

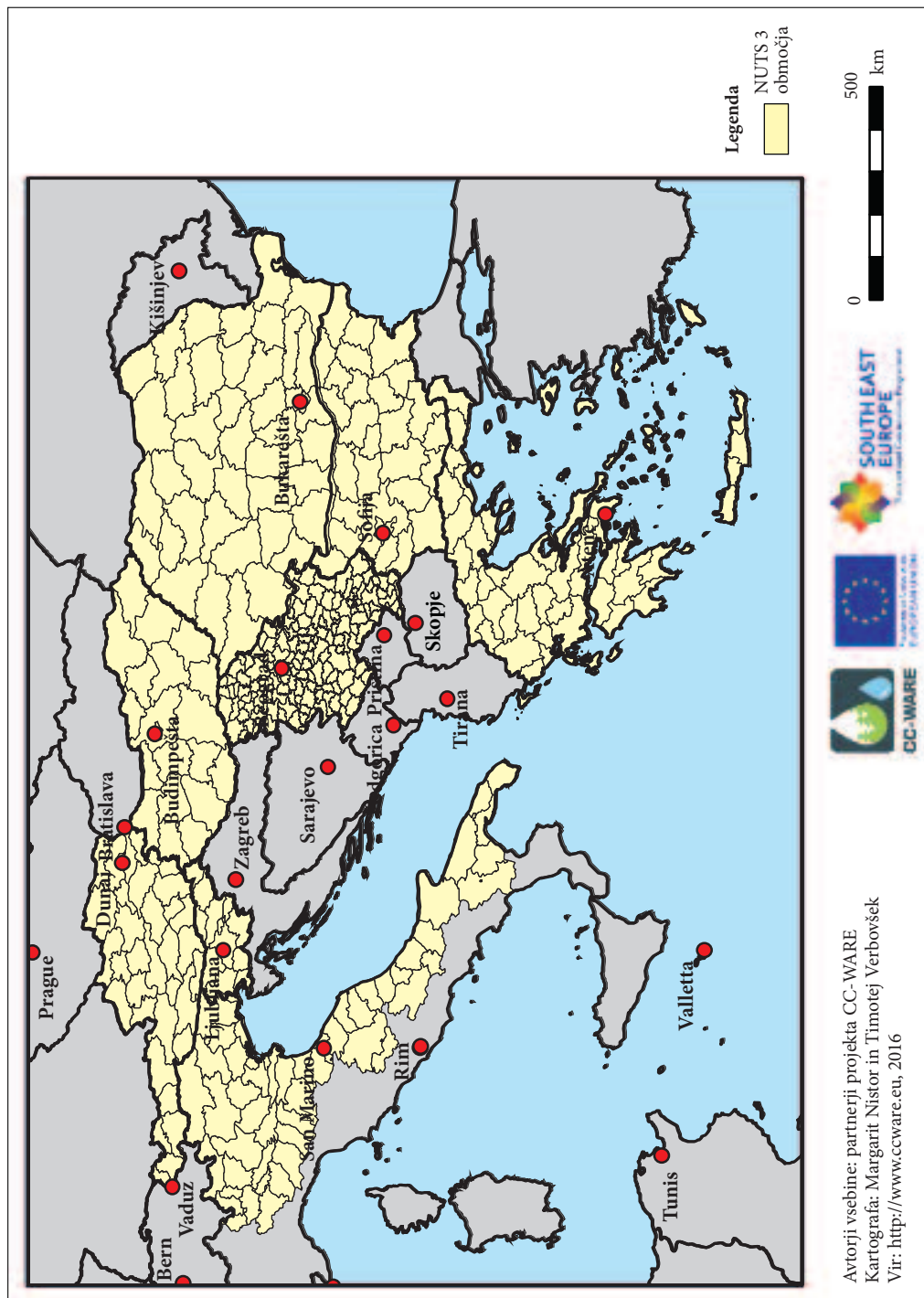
### 2.1 Območje raziskav

Analize so bile opravljene na območju izbranih držav jugovzhodne Evrope (Avstrija, Slovenija, Madžarska, Srbija, Romunija, Bolgarija, Grčija in vzhodni del Italije). Znotraj teh držav so bila določena manjša območja – NUTS 3 regije (medmrežje 2; slika 1). Za Srbijo, kjer NUTS regije ne obstajajo, so bile namesto teh uporabljene občine. Zaradi različnih lokalnih koordinatnih sistemov v posameznih državah je bil uporabljen skupen geografski koordinatni sistem WGS84. Velikost celic za vse rastrske analize je bila  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ , kar približno ustreza tudi drugim velikostim podnebnih analiz za primerljivo veliko območje (De la Franca, Sánchez in Domínguez 2013).

### 2.2 Vplivni dejavniki

Podnebje je eden glavnih gonilnih dejavnikov pri spremembah količin vodnih virov in ga največkrat izražamo s spremembami količine padavin, zračne temperature in evapotranspiracije. Za izračune so bili uporabljeni podatki projekta *CC-WaterS*, zato so tukaj predstavljeni le na kratko (medmrežje 3), po treh regionalnih podnebnih modelih (*RCMs*): *RegCM3*, *Aladin* in *Promes* (Micu s sodelavci 2015).

*Slika 1: Območje raziskav (svetlo rumeno), znotraj držav so vidne NUTS 3 regije oziroma v Srbiji občine. ►*



Avtorji vsebine: partnerji projekta CC-WARE  
Kartografa: Margarit Nistor in Timotej Verbovšek  
Vir: <http://www.ccware.eu>, 2016



*Reg3CM* je regionalni podnebni model, razvit v koncu 80-ih in začetku 90-ih prejšnjega stoletja let v *National Center for Atmospheric Research* v ZDA, danes pod okriljem *Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics* (ICTP) v Trstu (Elguindi s sodelavci 2007). *Aladin* je v Sloveniji najbolj znan podnebni model, ki se uporablja za podnebne napovedi v srednji in vzhodni Evropi in je pod okriljem francoske organizacije *Centre National de Recherche Meteorologique* (CNRM) (Farda s sodelavci 2010). Model *Promes* je bil izdelan v Španiji in se uporablja za celotno Evropo ter tudi drugod (Jiménez-Guerrero s sodelavci 2013). Modeli so bili izbrani zato, ker pokrivajo projektno območje jugovzhodne Evrope in so v preteklosti dobro simulirali podnebne spremembe (Hewitt 2004). Izračuni so bili opravljeni za tri obdobja: referenčno podnebno obdobje (1961–1990) (oznaka B oziroma *baseline climate*), sedanje obdobje (1991–2020) (oznaka P oziroma *present climate*) ter prihodnost (2021–2050) (oznaka F oziroma *future climate*).

Za modeliranje scenarijev sta bili v splošnem uporabljeni količina padavin (RR), zmanjšana za delež dejanske evapotranspiracije (AET) kot skupni lokalni odtok ( $LTR = RR - AET$ ) in poraba vode (WD). Iz teh dveh je bil nato določen indeks izkoriščenosti vode (LWEI), kot razmerje med porabo vode in razpoložljivo količino vode ( $LWEI = WD / LTR$ ). Natančnejši opis parametrov in oznake so podane v nadaljevanju.

- Vrednosti *padavin* so bile pridobljene iz rezultatov projekta *CC-WaterS* (medmrežje 3 <http://www.ccwaters.eu/>) in jih je posredoval projektni partner (C. Sorin) v isti obliki kot so bili ob koncu poenoteni vsi podatki tekom raziskav, torej v rastrski obliki v koordinatnem sistemu WGS84 z velikostjo celice  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ . Padavine so v prispevku označene z oznako  $RR_a$  (angleško *annual rainfall rate*, enota mm/leto). Rezultati so podani kot povprečna vrednost padavin omenjenih treh podnebnih modelov.
- *Povprečna dejanska letna evapotranspiracija* ( $AET_a$ , angleško *actual evapotranspiration*; enota mm/leto) je bila izračunana v okviru projekta *CC-WARE* in jih je podobno kot padavine posredoval projektni partner v isti obliki.
- Iz teh dveh parametrov je bil izračunan povprečni letni *skupni lokalni odtok* (angleško *local total runoff*), kot razlika med povprečno letno količino padavin in evapotranspiracijo ( $LTR_a = RR_a - AET_a$ ; enota mm/leto). Ta faktor predstavlja razpoložljivo količino vode. Za izračune razlik smo uporabili orodje *Raster Calculator* v naboru orodij *Spatial Analyst* v programskem paketu *ArcGIS*.
- *Povprečna letna poraba vode* (angleško *annual water demand*,  $WD_a$ ) je bila določena kot vsota treh ločenih virov: porabe vode zaradi porabe prebivalstva (angleško *domestic water demand*, *DWD*), porabe vode zaradi kmetijskih dejavnosti (angleško *agricultural water demand*, *AGRWD*) ter porabe vode zaradi industrije (angleško *industrial water demand*, *INDWD*). Skupna poraba vode je seštevek vseh treh porab ( $WD = DWD + AGRWD + INDWD$ ; enota  $l/m^2$  na leto). Pri porabi vode smo upoštevali štiri prihodnje scenarije glede različne porabe, prek utežnega faktorja  $\Delta WD$ . Najprej je bilo upoštevano zmanjšanje porabe vode za 10 % (faktor  $\Delta WD = 0,9$ ), enako stanje ( $\Delta WD = 1,0$ ), povečanje za 10 % ( $\Delta WD = 1,1$ ) in povečanje porabe vode za 25 % ( $\Delta WD = 1,25$ ). Predstavljeno je sedanje stanje ( $\Delta WD = 1,0$ ). Tako za seštevanje slojev porab vode kot za množenje z utežnimi faktorji smo uporabili orodje *Raster Calculator*.

Pri izračunu porabe vode (WD) za nekatere NUTS 3 regije v Sloveniji in Grčiji (ter ločenih izračunov po občinah v Srbiji) ni bilo razpoložljivih podatkov, zato so bili uporabljeni podatki za celotno državo. Kjer za NUTS 3 regije ni bilo podatkov o površini, smo jih določili sami s projiciranjem območij iz WGS84 koordinatnega sistema v ETRS Lambertov azimutni istopovršinski koordinatni sistem ETRS\_1989\_LAEA. Normiranje je bilo izvedeno kot delež površine NUTS 3 regije glede na porabo vode v celotni državi (AGRWD in INDWD) ali kot delež števila prebivalcev v NUTS 3 regiji glede število prebivalcev v celotni državi glede porabe vode (DWD). Izračune smo opravili v *MS Excelu*, nato pa preglednico prek identifikacijskih polj NUTS 3 (oziroma numerične oznake občine v Srbiji) povezali z vektorsko *shape* datoteko porabe vode (WD, ki je imel v atributni preglednici polja za NUTS3 ID, AGRWD, DWD, INDWD ter skupni WD). Ta vektorski sloj smo nato spremenili v rastrskega z orodjem *Feature to raster*.

### 2.3 Izračun indeksa LWEI

Iz vseh teh parametrov je bil nato z orodjem *Raster Calculator* izračunan končni parameter *lokalni indeks izkoriščenosti vode* (angleško *local water exploitation index*,  $LWEI_a$ ), ki predstavlja razmerje med porabo vode in razpoložljivo vodo (brezdimenzijski parameter, velja za letno povprečje):

$$LWEI_a = \frac{WD_a \cdot \Delta WD}{LTR_a} = \frac{(DWD + AGRWD + INDWD) \cdot \Delta WD}{RR_a - AET_a}$$

Parameter  $LWEI_a$  je bil na koncu razdeljen v pet razredov z razmikom 0,2 enot (oziroma 20 %), pri čemer najvišje vrednosti (0,8–1,0) predstavljajo problematična visoka razmerja med veliko količino vode in relativno majhno razpoložljivostjo vode ter obratno, najnižji razred (0,0–0,2) predstavlja najbolj ugodne oziroma varne vrednosti.

Poraba vode je bila razdeljena na dve sezoni; poletno in zimsko. Poletni meseci so bolj kritični, saj se poraba vode takrat poveča zaradi povečane turistične dejavnosti ter umetnega namakanja ravno v času, ko je razpoložljivost vode najmanjša zaradi odsotnosti padavin in povečane evapotranspiracije. Zato sta bila za korekcijo letnega parametra LWEI uvedena *poletni* (od vključno aprila do septembra) in *zimski* (vključno od oktobra do marca) *lokalni indeks izkoriščenosti vode* (angleško *summer and winter local water exploitation index*,  $LWEI_s$  in  $LWEI_w$ ). Oba indeksa sta izračunana iz poletnega in zimskega skupnega lokalnega odtoka ( $LTR_s$  in  $LTR_w$ ) po spodnjih enačbah:

$$LWEI_s = \frac{WD_s \cdot \Delta WD}{(\max(LTR)_s, 0,1)}$$

$$LWEI_w = \frac{WD_w \cdot \Delta WD}{(\max(LTR)_w, 0,1)}$$

V imenovalcu enačbe je vrednost  $LTR_s$  oziroma  $LTR_w$  podana kot funkcija  $MAX()$ , ki od dveh vrednosti poda večjo vrednost, torej ali vrednost  $LTR_s$  (oziroma  $LTR_w$ ) ali pa vrednost 0,1 mm/leto, ker je teoretično možno, da evapotranspiracija presega količino padavin  $RR_a < AET_a$  in je posledično vrednost  $LTR_a$  manjša od 0. Da do negativnih vrednosti ne pride, je zato v teh primerih s funkcijo  $MAX()$  zagotovljena najmanjša pozitivna vrednost  $LTR = 0,1$  mm/leto.

Poletni režim porabe vode se razlikuje od zimskega, zato je bil za poletno porabo vode  $DWD_s$  popravljen glede na sezonsko porabo razmerja v poletnem in zimskem času (podrobnosti za izračun so podani v končnem poročilu projekta *CC-WARE* (medmrežje 4)). Poletnemu  $AGRWD_s$  je bila dodeljena celoletna vrednost kmetijske porabe (posledično je bil zimski  $AGRWD_w$  enak 0), za industrijsko porabo pa se je predpostavljalo, da je celo leto enaka, tako da sta bili tako poletni ( $INDWD_s$ ) kot zimski porabi ( $INDWD_w$ ) pripisani polovični vrednosti letne porabe. Iz vseh treh porab vode sta bili izračunani poletna in zimska poraba ( $WD_s$  in  $WD_w$ ). Poletni in zimski skupni lokalni odtok  $LTR_s$  in  $LTR_w$  se navezujeta na poletne in zimske mesece.

Iz obeh indeksov je bil določen *sezonski lokalni indeks izkoriščenosti vode* ( $LWEI_{sw}$ ) kot večja oziroma bolj kritična vrednost od obeh ( $LWEI_{sw} = \max(LWEI_s, LWEI_w)$ ). Na koncu je bil ta indeks uporabljen za korekcijo letnega indeksa  $LWEI_a$  po ekspertni oceni v končni *sezonsko korigirani letni lokalni indeks porabe*  $LWEI_{asw}$ , predstavljeni v preglednici 1. Kombinacija  $LWEI_a$  in  $LWEI_{sw}$  je potekala z uporabo orodja *Raster Calculator* v *ArcGIS-u* (ESRI 2012) po postopku seštevanja zemljevidov v skupen rastrski zemljevid (Juvan in Čenčur Curk 2008; Milavec in Verbovšek 2012), kjer so bile indeksu  $LWEI_a$

pripisane vrednosti oziroma kode od 1 do 5, indeksu  $LWEI_{sw}$  pa od 100 do 500. S seštevanjem so bile torej možne kombinacije od 101, 102, 103, ... 201, 202, 203, ... do 503, 504 in 505. Tem vrednostim je bila prek ekspertne ocene (preglednica 1) dodeljena petstopenjska klasifikacija od zelo nizkega indeksa do zelo visokega, petim klasifikacijskim razredom pa na koncu vrednosti od zelo majhnega (siva barva) do zelo velikega (rdeča barva). Indeks  $LWEI_{asw}$  je torej končni klasificiran rezultat izračunov.

*Preglednica 1: Določitev sezonsko korigiranega lokalnega indeksa izkoriščenosti vode  $LWEI_{asw}$  iz letnega lokalnega indeksa porabe vode  $LWEI_a$  in sezonskega lokalnega indeksa porabe vode  $LWEI_{sw}$ .*

		$LWEI_a$				
		[0,0–0,2]	[0,2–0,4]	[0,4–0,6]	[0,6–0,8]	[0,8–1,0]
		zelo nizek	nizek	srednji	visok	zelo visok
$LWEI_{sw}$	kategorija	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
	zelo nizek	A1 [101]	A2 [102]	A3 [103]	A4 [104]	A5 [105]
	nizek	B1 [201]	B2 [202]	B3 [203]	B4 [204]	B5 [205]
	srednji	C1 [301]	C2 [302]	C3 [303]	C4 [304]	C5 [305]
	visok	D1 [401]	D2 [402]	D3 [403]	D4 [404]	D5 [405]
	zelo visok	E1 [501]	E2 [502]	E3 [503]	E4 [504]	E5 [505]

		$LWEI_{asw}$				
		zelo nizek	nizek	srednji	visok	zelo visok

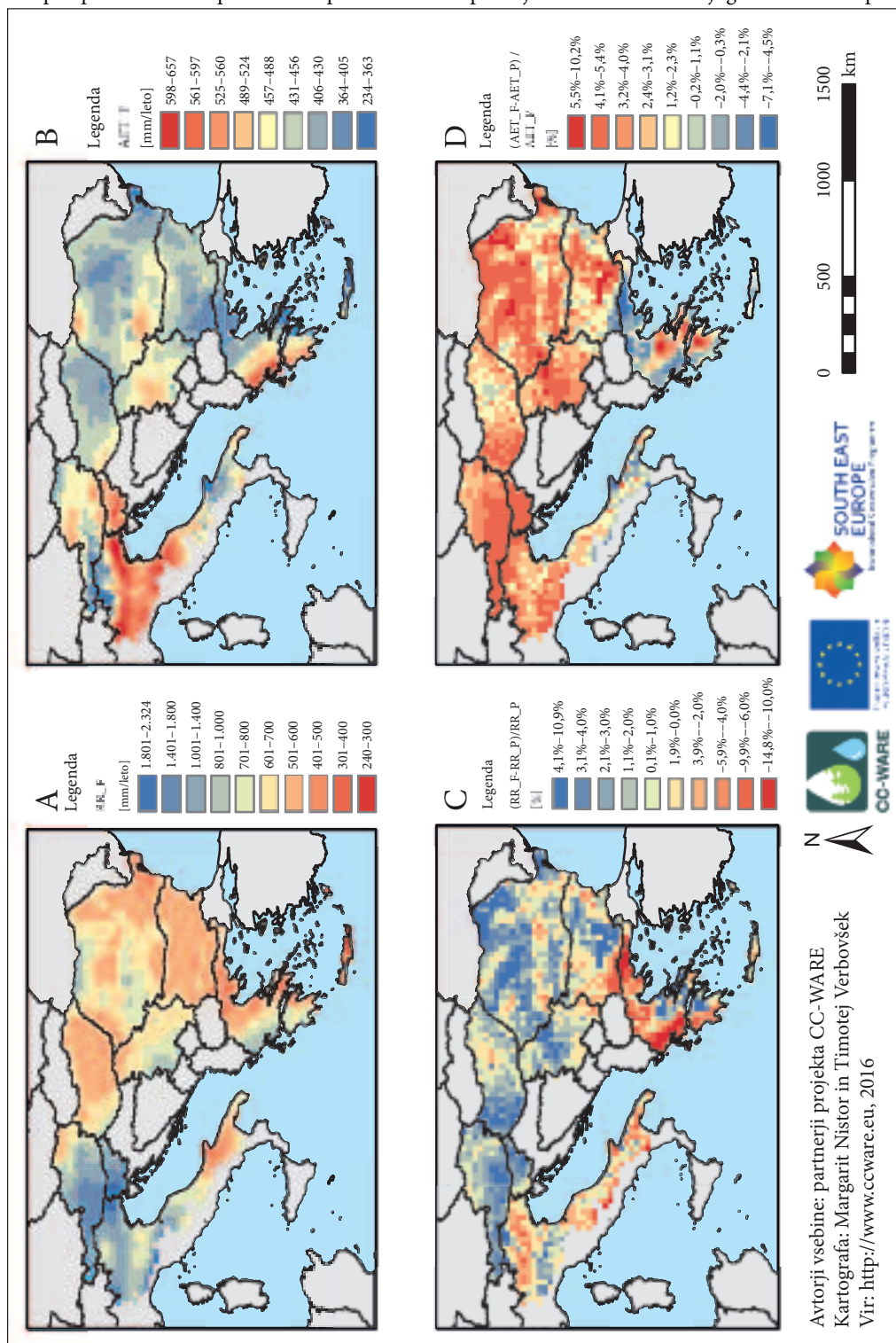
### 3 Rezultati in razprava

#### 3.1 Padavine in evapotranspiracija

Vrednosti padavin se regionalno spreminjajo in bodo v sedanjem modeliranem obdobju (1991–2020) večje v višje ležečih severozahodnih območjih regije (sliki 2A in 2C). Najmanj padavin je pričakovati v južnem Sredozemlju ter v jugovzhodni Romuniji. Prostorska razporeditev padavin je dokaj neodvisna od upoštevanega časovnega obdobja. Bolj zanimivo sliko kaže relativna razlika v odstotkih  $((RR_F - RR_P) / RR_P)$  v količini padavin med prihodnjim scenarijem (F) in sedanjim stanjem (P) glede na sedanje stanje (P); razvidno iz slike 2C. Gre za prostorsko prerazporeditev padavin tako, da bo približno 10 % več padavin v alpskem delu regije, podobno zmanjšanje padavin pa v Padski nižini in Grčiji ter preostalem delu Italije. Evapotranspiracija (slika 2B) je največja v Padski nižini in Grčiji ter se manjša proti vzhodu. Relativna razlika (slika 2D) kaže, da se bo evapotranspiracija relativno povečala za približno 10 % na celotnem območju, zmanjšala pa le v delu Grčije (za nekaj odstotkov). V kombinaciji z zmanjšano količino padavin to predstavlja potencialne težave v oskrbi z vodo.

*Slika 2: A) Količina padavin (RR) in B) evapotranspiracija (AET); podatki za sedanje obdobje (P, 1991–2020) v mm/leto. C) Relativna razlika med količino padavin med prihodnjim (F) in sedanjim (P) obdobjem, glede na sedanje stanje (P). D) Relativna razlika med dejansko evapotranspiracijo; v odstotkih. Opomba k slikama B in D: dejanska evapotranspiracija (AET) je bila izračunana z Budykovo enačbo na podlagi dolgoletnih vrednosti padavin in potencialne evapotranspiracije. ►*

# Vpliv porabe vode in podnebnih sprememb na razpoložljivost vodnih virov v jugovzhodni Evropi



Avtorji vsebine: partnerji projekta CC-WARE  
 Kartografa: Margarit Nistor in Timotej Verbovšek  
 Vir: <http://www.ccware.eu>, 2016

### 3.2 Poraba vode

Poraba vode za sedanje stanje (P, 1991–2020) je prikazana na sliki 3. Skupna poraba je seštevek porabe vode zaradi porabe prebivalstva (DWD, slika 3A), porabe vode zaradi kmetijskih dejavnosti (AGRWD, slika 3B) ter porabe vode zaradi industrije (INDWD, slika 3C). Iz rezultatov je razvidno, da poraba vode za prebivalstvo predstavlja le manjši delež porabe vode v skupnem seštevku glede na kmetijsko in industrijsko porabo, ki sta približno enaki. Večja poraba (DWD) je v bližini večjih mest zaradi večje gostote prebivalstva ter v gosto poseljeni Padski nižini. Izrazito več vode, kot ostale države, uporablja za namakanje (AGRWD) Grčija, krajevni višek pa je tudi v vzhodnem delu Romunije pri delti Donave. Izstopata tudi območji okoli Dunaja ter jugovzhodna Madžarska, kjer so večja namakalna zemljišča. Industrijska poraba (INDWD) je pričakovano večja v industrijsko bolj razvitih državah na severozahodu obravnavanega območja. Na območju Balkana se v splošnem za nekatere porabe vode pojavljajo večje razlike predvsem zaradi nedostopnosti podatkov na ravni NUTS 3 regij. Skupna poraba vode (WD, slika 3D) kaže na večjo porabo v Italiji, Sloveniji in Avstriji predvsem zaradi večje industrijske porabe ter v Grčiji zaradi prevladujoče porabe za kmetijstvo.

### 3.3 Indeks LWEI

Iz prestavljenih parametrov LTR in WD je bil nato določen lokalni indeks izkoriščenosti vode LWEI (slika 4). Poletni indeks (slika 4B) je veliko bolj problematičen kot zimski, saj je poraba vode bistveno večja, obenem pa je razpoložljivost manjša, kar vodi do visokega indeksa. Po kategorizaciji je razvidno, da prevladuje najvišji razred na celotnem obravnavanem območju, z izjemo Alp, manjšega dela Dinarskega gorstva in Karpatov. Zimski indeks  $LWEI_w$  (slika 4C) pade večinoma v prvo kategorijo (»zelo nizek«), razen na posameznih manjših območjih v Italiji, na Madžarskem in južnem Balkanu. Vrednosti zimskega indeksa so zelo podobne vrednostim letnega  $LWEI_a$  zaradi večjega napajanja vodnih virov v zimskem času in zaradi manjše porabe vode. Po korigiranju letnega indeksa s sezonskim, je končni rezultat sedanjega stanja (indeks  $LWEI_{asw}$ ) predstavljen na sliki 4D.

### 3.4 Vpliv podnebnih sprememb in porabe vode na razpoložljivost vodnih virov

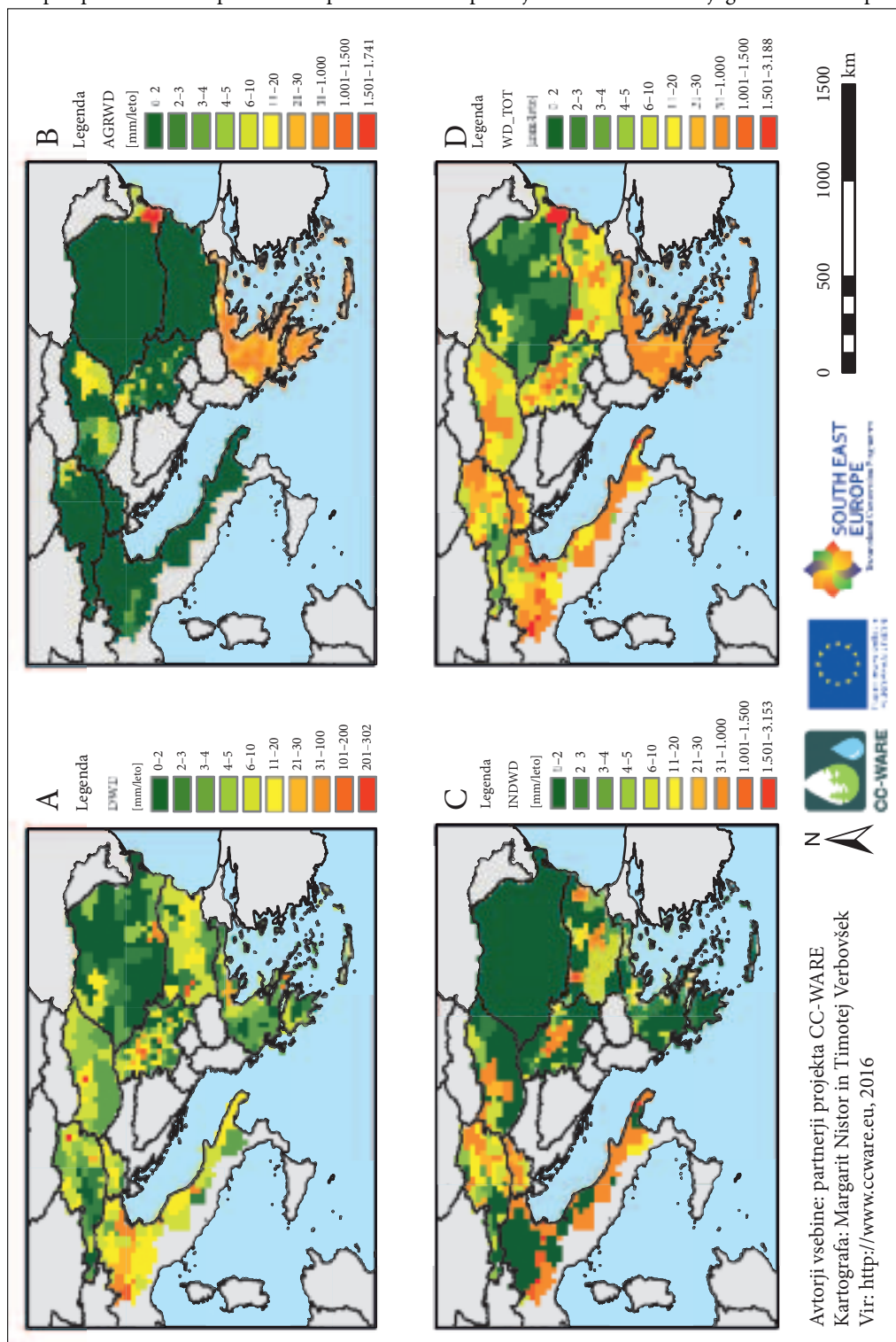
Na sliki 5 so predstavljeni štiri scenariji sezonsko korigiranega letnega lokalnega indeksa izkoriščenosti  $LWEI_{asw}$  (= WD / LTR) za obdobje 2021–2050. Podnebne spremembe so zajete v vrednostih LTR, človeški vpliv pa v vrednostih WD. Slika 5A prikazuje simulirano stanje glede na doseženo porabo vode, ostali trije scenariji (slika 5B, C in D) pa ob zmanjšani porabi vode za 10 % ter za povečano porabo za 10 % in 25 %. Razvidno je, da v končni kategorizaciji razlika med scenariji bistveno ne izstopa, večina območja pa, kot v primeru sedanje porabe, pade v dva ekstremna razreda. Zelo visok indeks je na območju Italije, Panonske nižine, Romunije in Bolgarije ter v Grčiji, najmanjše vrednosti pa so vidne na območju Alp, v Dinarskem gorstvu ter delu Karpatov.

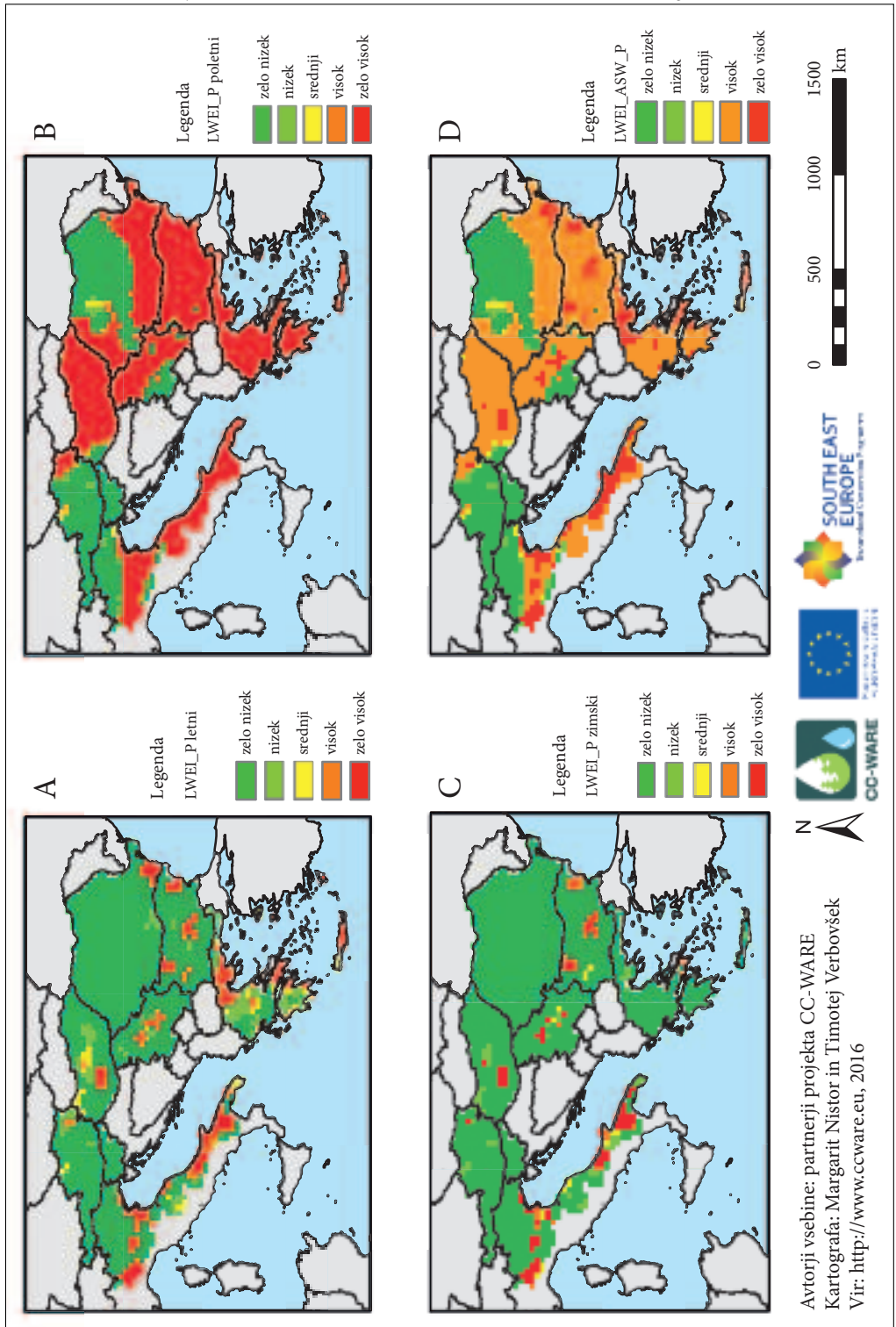
*Slika 3: A) Poraba vode DWD, B) AGRWD, C) INDWD ter D) skupna WD; podatki za nespremenjeno porabo ( $DWD = 1,0$ ) v mm/leto. Opomba k vsem slikam: podatki za porabo vode so zmanjšani (angleško downscaled) in rastrirani iz vektorskih podatkov. ►*

*Slika 4: A) Letni lokalni indeks izkoriščenosti  $LWEI_a$ , B) poletni lokalni indeks izkoriščenosti  $LWEI_p$ , C) zimski lokalni indeks izkoriščenosti  $LWEI_w$  ter D) sezonsko korigiran letni lokalni indeks izkoriščenosti indeks  $LWEI_{asw}$ . Temnozeleno barva predstavlja razred zelo nizkega indeksa, svetlozeleno razred nizkega indeksa, rumeno srednjega indeksa, oranžna visokega ter rdeča zelo visokega indeksa  $LWEI$ . ► (str. 78)*

*Slika 5: Sezonsko korigiran letni lokalni indeks porabe  $LWEI_{asw}$  za A) prihodnje obdobje 2021–2050 (oznaka F), B) ob zmanjšani porabi vode za 10 % – indeks  $LWEI_{asw}$ , C) ob povečani porabi vode za 10 % – indeks  $LWEI_{asw}$  ter D) ob povečani porabi vode za 25 % – indeks  $LWEI_{asw}$ . ► (str. 79)*

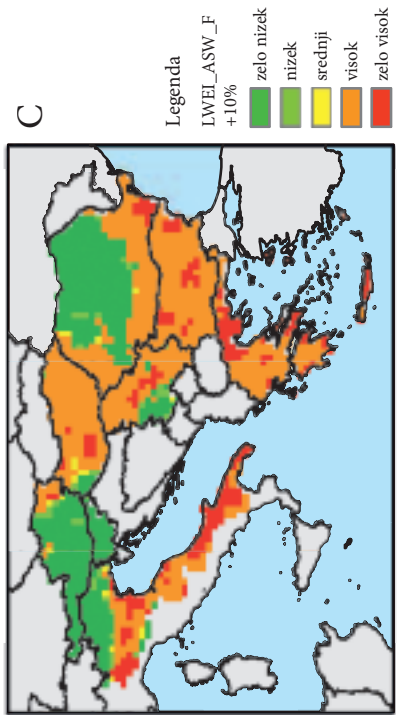
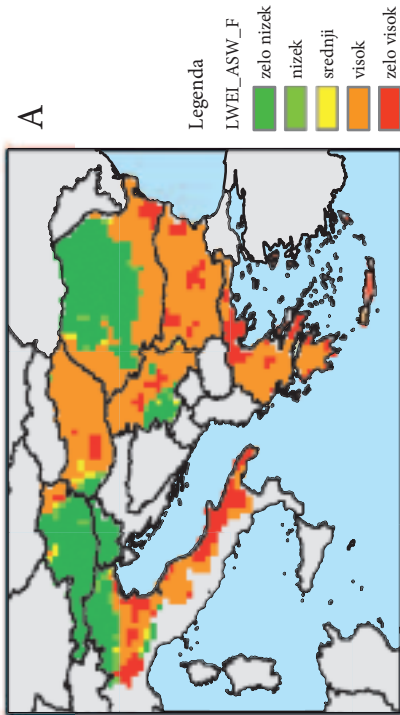
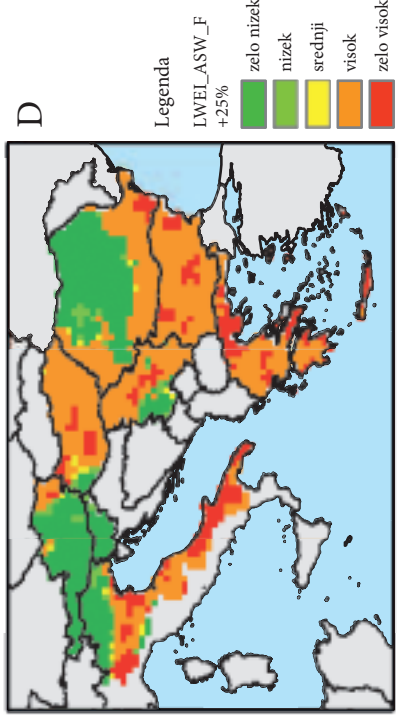
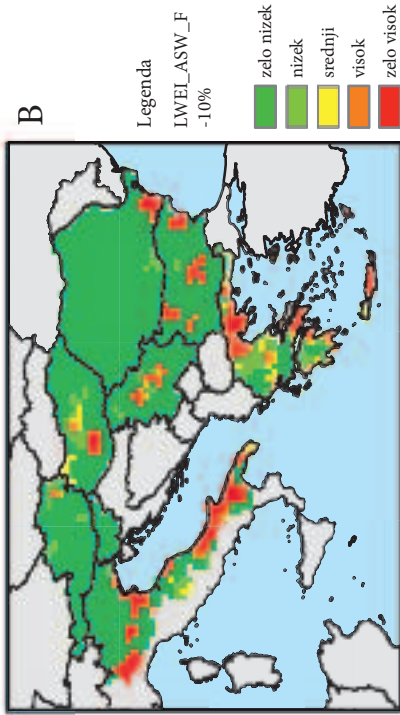
# Vpliv porabe vode in podnebnih sprememb na razpoložljivost vodnih virov v jugovzhodni Evropi





Avtorji vsebine: partnerji projekta CO-WARE  
Kartografa: Margarit Nistor in Timotej Verbovšek  
Vir: <http://www.ccware.eu>, 2016

Vpliv porabe vode in podnebnih sprememb na razpoložljivost vodnih virov v jugovzhodni Evropi



Avtorji vsebine: partnerji projekta CC-WARE  
Kartografa: Margarit Nistor in Timotej Verbovšek  
Vir: <http://www.ccware.eu>, 2016



## 4 Sklep

Iz prikazov za sedanje modelirano obdobje (1991–2020) je razvidno, da je najmanj pričakovati padavin v južnem Sredozemlju ter v jugovzhodni Romuniji. Splošni prostorski razpored padavin je dokaj neodvisen od upoštevanega časovnega obdobja. Razlika v količini padavin med prihodnjim scenarijem (F) in sedanjim stanjem (R) pa kaže, da bo v prihodnosti nekaj več padavin v alpskem delu regije, zmanjšanje pa je pričakovati v Padski nižini in Grčiji ter ob celotnem jadranskem (obalnem) delu Italije. Odstopajoče nižje vrednosti je pričakovati v zahodni Grčiji. Evapotranspiracija je največja v Padski nižini in Grčiji ter se v splošnem manjša proti vzhodnemu delu preučevanega območja.

Poraba vode zaradi porabe prebivalstva (DWD) predstavlja le manjši delež porabe vode v skupnem deležu s kmetijsko in industrijsko porabo; večja je v večjih mestih zaradi večjega števila prebivalcev. Večji delež vode za namakanje (AGRWD) uporablja Grčija, visoke vrednosti pa so tudi v vzhodnem delu Romunije pri delti Donave. Industrijska poraba (INDWD) je večja v industrijsko bolj razvitih državah. Skupna poraba vode kaže na večjo porabo v severnem delu regije predvsem zaradi večje industrijske porabe in v Grčiji zaradi prevladujoče porabe za kmetijstvo.

Poletni lokalni indeks izkoriščenosti vode (LWEI<sub>w</sub>) je veliko bolj problematičen kot zimski, saj je poraba vode bistveno večja, obenem pa razpoložljivost vode manjša, kar vodi do visokega indeksa. Zimski indeks LWEI<sub>w</sub> je večinoma zelo nizek, razen na posameznih manjših območjih.

Scenariji za prihodnost (2021–2050), ki vključujejo podnebne spremembe in upoštevajo zmanjšano porabo vode za 10 % ter povečano porabo za 10 % in 25 %, kažejo, da je precejšen del obravnavanega območja v zelo visokem in torej problematičnem razredu sezonsko korigiranega letnega lokalnega indeksa izkoriščenosti LWEI<sub>asw</sub>, ki je končni pokazatelj vseh zajetih faktorjev. Najmanjše vrednosti so vidne na območju Alp, v Dinarskem gorstvu in južnem delu Karpatov (severni del Karpatov ni bil zajet v projektno območje). V končni kategorizaciji ni bistvene razlike med scenariji povečanja porabe vode za –10 %, +10 % ali +25 %, pa tudi med različnimi scenariji razpoložljivosti vode.

Rezultati kažejo problematična območja, kjer je treba izvesti ukrepe, da bi preprečili težave z oskrbo vode v prihodnosti. Nekateri ukrepi so bili izvedeni v času pred poudarjanjem podnebnih sprememb, na primer izgradnja vodovoda in zajem pitne vode v gorovju več 100 km zahodno od Dunaja, uporaba Donave za oskrbo Budimpešte in okolice, uporaba površinskih voda v severovzhodni Grčiji. Stanje razpoložljivosti vode v Sloveniji je po obravnavanih kriterijih ugodno, toda ker vodni viri niso omejeni na državne meje, je na širšem območju razpoložljivost vodnih virov tudi kritična in si zasluži celovit pristop reševanja problematike.

## 5 Zahvala

Zahvaljujemo se Evropski uniji ter ERDF (*European Regional Development Fund*) in IPA (*Instrument for Pre-Accession Assistance*) za finančno podporo projekta CC-WARE (program Jugovzhodna Evropa) ter projektnim partnerjem za sodelovanje.

## 6 Viri in literatura

- Alcamo, J., Doll, P., Kaspar, F., Siebert, S. 1997: Global change and global scenarios of water use availability: an application of WaterGAP. Kassel. Medmrežje: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.204.3561&rep=rep1&type=pdf> (14. 4. 2016).
- Arnell, N. W. 2004: Climate-change impacts on river flows in Britain: the UKCIP02 scenarios. *Journal of the Chartered Institution of Water and Environmental Management* 18-2. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1747-6593.2004.tb00507.x>

- De la Franca, N., Sánchez, E., Domínguez, M. 2013: Changes in the onset and length of seasons from an ensemble of regional climate models over Spain for future climate conditions. *Theoretical and Applied Climatology* 114-3. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-013-0868-2>
- Elguindi, N., Bi, X., Giorgi, F., Nagarajan, B., Pal, J., Solmon, F., Rauscher, S., Zakey, A. 2007: RegCM Version 3.1 User's Guide. Trst. Medmrežje: [https://www.researchgate.net/publication/268355046\\_RegCM\\_Version\\_31\\_User's\\_Guide](https://www.researchgate.net/publication/268355046_RegCM_Version_31_User's_Guide) (14. 4. 2016).
- ESRI ArcGIS 10. ESRI Inc. Redlands, 2012.
- Farda, A., Déqué, M., Somot, S., Horányi, A., Spiridonov, V., Tóth, H. 2010: Model Aladin as regional climate model for Central and Eastern Europe. *Studia Geophysica et Geodaetica* 54-2. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11200-010-0017-7>
- Faticchia, S., Rimkus, S., Burlando, P., Bordoy, R., Molnar, P. 2015: High-resolution distributed analysis of climate and anthropogenic changes on the hydrology of an Alpine catchment. *Journal of Hydrology* 525. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.036>
- Harding, R. J., Weedon, G. P., van Lanen, H. A. J., Clark, D. B. 2014: The future for global water assessment. *Journal of Hydrology* 518, part B. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.05.014>
- Hewitt, C. D. 2004: Ensembles-based predictions of climate changes and their impacts. *Eos* 85-52. DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/2004EO520005>
- IPCC – Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Ženeva, 2014. Medmrežje: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/> (14. 4. 2016).
- Jiménez-Guerrero, P., Montávez, J. P., Domínguez, M., Romera, R., Fita, L., Fernández, J., Cabos, W. D., Liguori, G., Gaertner, M. A. 2013: Mean fields and interannual variability in RCM simulations over Spain: the ESCENA project. *Climate Research* 57-3. DOI: <http://dx.doi.org/10.3354/cr01165>
- Juvan, G., Čenčur Curk, B. 2008: Primerjava metod določanja naravne ranljivosti na območju Kravca. GIS v Sloveniji 9. Ljubljana.
- Ludwig, F., van Slobbe, E., Cofino, W. 2014: Climate change adaptation and integrated water resource management in the water sector. *Journal of Hydrology* 518, Part B. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.08.010>
- Medmrežje 1: <http://www.ccware.eu/> (28. 1. 2016).
- Medmrežje 2: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/nuts/overview> (28. 1. 2016).
- Medmrežje 3: <http://www.ccwaters.eu/> (28. 1. 2016).
- Medmrežje 4: [http://www.ccware.eu/downloads/external-downloads/doc\\_download/396-cc-ware-wp3-report-final-version.html](http://www.ccware.eu/downloads/external-downloads/doc_download/396-cc-ware-wp3-report-final-version.html) (28. 1. 2016).
- Micu, D. M., Dumitrescu, A., Cheval, S., Birsan, M.-V. 2015: Methods. *Climate of the Romanian Carpathians – Variability and Trends*. DOI: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-02886-6\\_5](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-02886-6_5)
- Milavec, K., Verbovšek, T. 2012: Večkriterijsko vrednotenje vodonosnika Spodnje Savinjske doline za pridobivanje obnovljive toplotne energije. GIS v Sloveniji 11. Ljubljana.
- Millán, M. M. 2014: Extreme hydrometeorological events and climate change predictions in Europe. *Journal of Hydrology* 518, part B. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.12.041>
- Milly, P. C. D., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R. M., Kundzewicz, Z. W., Lettenmaier, D. P., Stouffer, R. 2008: Stationarity is dead: Whither water management? *Science* 319-5863. DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/science.1151915>
- Pilling, C., Jones, J. A. A. 1999: High resolution climate change scenarios: implications for British runoff. *Hydrological Processes* 13-17. DOI: [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(19991215\)13:17<2877::AID-HYP904>3.0.CO;2-G](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(19991215)13:17<2877::AID-HYP904>3.0.CO;2-G)
- Rijsberman, F. R. 2006: Water scarcity: Fact or fiction? *Agricultural Water Management* 80, 1-3. DOI: [10.1016/j.agwat.2005.07.001](http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.001)

- Seckler, D., Amarasinghe, U., Molden., D. J. R., de Silva, R. B. 1998: World Water Demand and Supply, 1990 to 2025: Scenarios and Issues. Colombo. Medmrežje: [http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/IWMI\\_Research\\_Reports/PDF/PUB019/REPORT19.PDF](http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/IWMI_Research_Reports/PDF/PUB019/REPORT19.PDF) (14. 4. 2016).
- Tidwell, V. C., Passell, H. D., Conrad, S. H., Thomas, R. P. 2004: System dynamics modelling for community-based water planning: Application to the Middle Rio Grande. Aquatic Sciences 66-4. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00027-004-0722-9>
- Van Vliet, M. T. H., Franssen, W. H. P., Yearsley, J. R., Ludwige, F., Haddeland, I., Lettenmaier, D. P., Kabat, P. 2013: Global river discharge and water temperature under climate change. Global Environmental Change 23-2. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.11.002>

## SATELITSKO TERMIČNO SNEMANJE LJUBLJANE

**Rok Cedilnik**

rok.cedilnik@gmail.com

**dr. Krištof Oštir, dr. Žiga Kokalj**

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

*kristof@zrc-sazu.si, ziga.kokalj@zrc-sazu.si*

UDK: 528.8:551.524(497.4Ljubljana)

### IZVLEČEK

#### **Satelitsko termično snemanje Ljubljane**

Človek s svojim načinom življenja nenehno posega v prostor in s tem vpliva na okolje v katerem živi. Mesta kot najbolj spremenjena oblika naravnega prostora se soočajo z oslABLJENO cirkulacijo zraka, nenehnim onesnaževanjem in povišano povprečno temperaturo zraka. Tako prihaja do specifičnih podnebnih razmer, ki vodijo do pojavnega mestnega toplotnega otoka. Ta močno vpliva na kakovost bivanja in počutje ljudi. V prispevku je na kratko opisna metoda določitve temperature tal iz satelitskih posnetkov Landsat, ki smo jo uporabili pri raziskavi pojavnega mestnega toplotnega otoka v Ljubljani. Rezultati analiz potrjujejo prisotnost mestnega toplotnega otoka in izpostavijo območja v mestu, ki se pogosto pregreva.

### KLJUČNE BESEDE

temperatura tal, mestni toplotni otok, Landsat, Ljubljana

### ABSTRACT

#### **Satellite remote sensing of Ljubljana**

Humankind is constantly modifying its living space and in this way changing the environment on an unprecedented scale. Cities are the most transformed form of natural space and are facing a weekend air circulation, constant supply of pollutants, and an increase in air temperature. These form specific microclimate conditions that enable formation of an urban heat island (UHI). UHI has a negative impact on the quality of living. This paper describes a method for determination of land surface temperature from Landsat images used in an analysis of the UHI of Ljubljana. The results confirm the presence of the UHI and uncover areas that are most affected.

### KEY WORDS

land surface temperature, urban heat island, Landsat, Ljubljana

## 1 Uvod

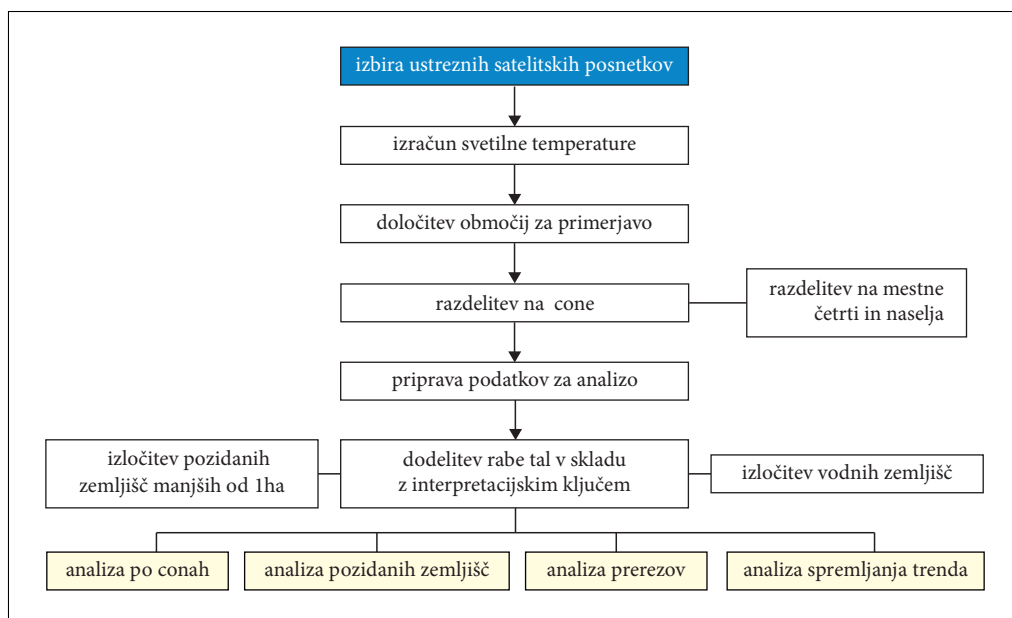
Urbanizacija ima velik vpliv na krajevno vreme in podnebje (Landsberg 1981). Med najbolj vsakdanjimi posledicami je pojav mestnega toplotnega otoka, ki je neposreden znak degradacije okolja. Kot prvi je pojav že leta 1833 opisal angleški kemik in amaterski meteorolog Luke Howard in z njim označil urbano območje, ki ima povprečno višje temperature zraka, kot okoliško podeželje (Howard 1833). Na višje temperature najbolj vplivajo spremenjene sevalne lastnosti površja (zlasti povečan delež betona in asfalta) in zmanjšana stopnja evapotranspiracije. Vpliv pa imajo tudi drugi dejavniki, kot na primer:

- učinek kanjona (poveča absorpcijo kratkovalovnega sevanja),
- zmanjšan delež vidnega neba (zmanjša dolgovalovno sevanje),
- povečana hrapavost površja (zmanjšuje vetrovnost).

Povečana stopnja onesaženja lahko poveča urbani albedo in vrne del dolgovalovnega sevanja. V urbanih območjih je večji tudi vnos antropogene toplote, na primer zaradi ogrevanja, prometa in industrijske proizvodnje (Oke 1981, 1987).

Z večanjem deleža urbanizacije ter dvigom temperatur in intenzivnosti vročinskih valov, postaja pojav vse bolj intenziven ter pomemben za razvoj mest in življenjske pogoje v njih. Učinkovito načrtovanje mestnih dejavnosti in infrastrukture mora zato pojav mestnega toplotnega otoka upoštevati in spremljati njegovo stanje.

Stanje temperature tal je mogoče spremljati s satelitskimi sistemi. Nekateri omogočajo pridobitev podatkov večkrat dnevno ali celo večkrat na uro, a imajo zelo grobo prostorsko ločljivost (več kilometrov), ki ni primerna za detajlno razločevanje temperature razčlenjenosti manjših mest. Pri ugotavljanju stanja in razsežnosti toplotnega otoka Ljubljane, smo se zato oprli na posnetke satelita *Landsat 8*, ki imajo v termičnem spektru prostorsko ločljivost 100 m. Za Ljubljano in njeno okolico so posnetki *Landsat 8* na voljo dvakrat v 16 dneh, njihova uporabnost pa je v veliki meri odvisna od stopnje oblačnosti v trenutku zajema.



Slika 1: Potek dela.

## 2 Izbor in obdelava podatkov

Pri spremljanju stanja med letoma 2013 in 2014 smo uporabili po dva posnetka satelita *Landsat 8* za vsak letni čas. Za kriterij kakovosti smo postavili ničelno oblačnost na preučevanem območju. Pri posnetkih zajetih v toplejšem delu leta smo bili pozorni na morebitno prisotnost vročinskega vala, saj ga je treba upoštevati pri interpretaciji rezultatov. Seznam in osnovne lastnosti pridobljenih posnetkov podaja preglednica 1, potek dela pa prikazuje slika 1.

Satelit *Landsat 8* je bil izstreljen 1. februarja 2013. Je edini polno delujoči predstavnik izjemno uspešne serije satelitov, ki že več kot 40 let pridobivajo podatke o Zemljinem površju. Opremljen je s senzorjema OLI (*Operational Land Imager*) in TIRS (*Thermal InfraRed Sensor*). Slednji vsebuje detektorja, ki snemata v termalnem infrardečem delu elektromagnetnega spektra (kanal 10: 10,6–11,2  $\mu\text{m}$  in kanal 11: 11,5–12,5  $\mu\text{m}$ ). Zaradi ujemanja s prostorsko ločljivostjo večspektralnih kanalov detektorja OLI, sta tudi kanala TIRS prevzorčena na ločljivost 30 m, vendar je njuna prava ločljivost 100 m. Podatki starejših satelitov *Landsat* prav tako vsebujejo termični kanal, a so zaradi slabših lastnosti detektorjev za ugotavljanje trenutnega stanja mestnega toplotnega otoka manj primerni.

Preglednica 1: Pridobljeni in obdelani posnetki satelita *Landsat 8* za območje Ljubljane.

oznaka posnetka	datum snemanja	čas snemanja	letni čas
LC81900282013105	15. 4. 2013	9:47:50	pomlad
LC81900282013169	18. 6. 2013	9:47:57	
LC81900282013201	20. 7. 2013	9:47:58	poletje
LC81910282013224	12. 8. 2013	9:54:12	
LC81910282013304	31. 10. 2013	9:53:55	jesen
LC81910282013336	2. 12. 2013	9:53:49	
LC81900282014012	12. 1. 2014	9:47:13	zima
LC81910282014067	8. 3. 2014	9:52:45	

Detektor na satelitu beleži intenziteto fotonov iz točno določenega območja elektromagnetnega valovanja. Na podlagi jakosti prejetega impulza oziroma števila fotonov se za vsak spektralni kanal določi numerične vrednosti v razponu od 0 do 4095 (*Landsat 8*). Tak zapis ni neposredno primeren za nadaljnjo obdelavo, saj so vrednosti odvisne od kota pod katerim detektor zajema podatke, lokacije sonca, vremenskih razmer in tako dalje (Edwards in Mumby 1999). Podatke zato pretvorimo v vrednosti se-vane energije oziroma radianca ( $L_\lambda$ ), pri čemer uporabimo transformacijske faktorje (medmrežje 1). Enačba pretvorbe je:

$$L_\lambda = \left( \frac{L_{\max_\lambda} - L_{\min_\lambda}}{Q_{cal_{\max}} - Q_{cal_{\min}}} \right) \cdot (Q_{cal} - Q_{cal_{\min}}) + L_{\min_\lambda}$$

kjer so:

- $L_{\max_\lambda}$  maksimalna spektralna radianca,
- $L_{\min_\lambda}$  minimalna spektralna radianca,
- $Q_{cal_{\max}}$  maksimalna kalibrirana vrednost celice,
- $Q_{cal_{\min}}$  minimalna kalibrirana vrednost celice,
- $Q_{cal}$  določena in kalibrirana standardna vrednost celice.

Iz radiance lahko izračunamo temperaturo Zemljinega površja, kot jo je izmeril satelit. Z obrnjeno Planckovo enačbo in predpostavko, da je emisivnost površja enaka 1, je pretvorba radiance v svetilno temperaturo dana z izrazom:

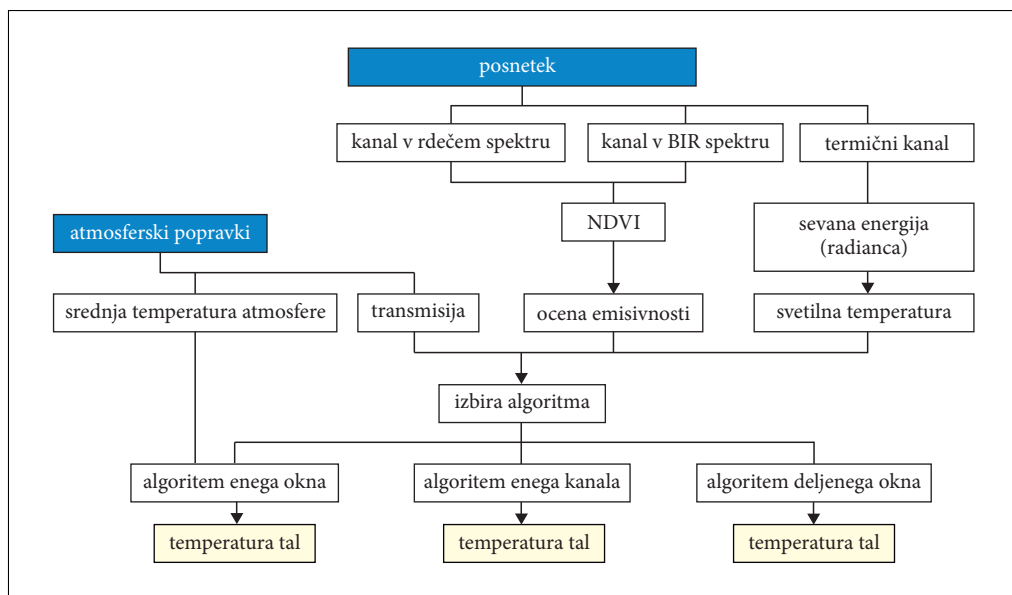
$$T_6 = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)}$$

kjer so:

$K_1$  in  $K_2$  termični kalibracijski konstanti ter

$L_\lambda$  radianca v termičnem kanalu ( $W / (m^2 \cdot srad \cdot \mu m)$ ).

Svetilna temperatura ni enaka dejanski temperaturi tal, je le prvi indikator temperaturnega stanja površja. Da se približamo pravim temperaturnim vrednostim, moramo upoštevati še vpliv atmosfere in emisivnost površja (slika 2). Izbira algoritma za izračun temperature tal je odvisna predvsem od števila termičnih kanalov, ki jih ima satelit ter razpoložljivosti atmosferskih podatkov, ki so na voljo v času preleta.



Slika 2: Potek izračuna temperature tal iz termičnega kanala satelita Landsat.

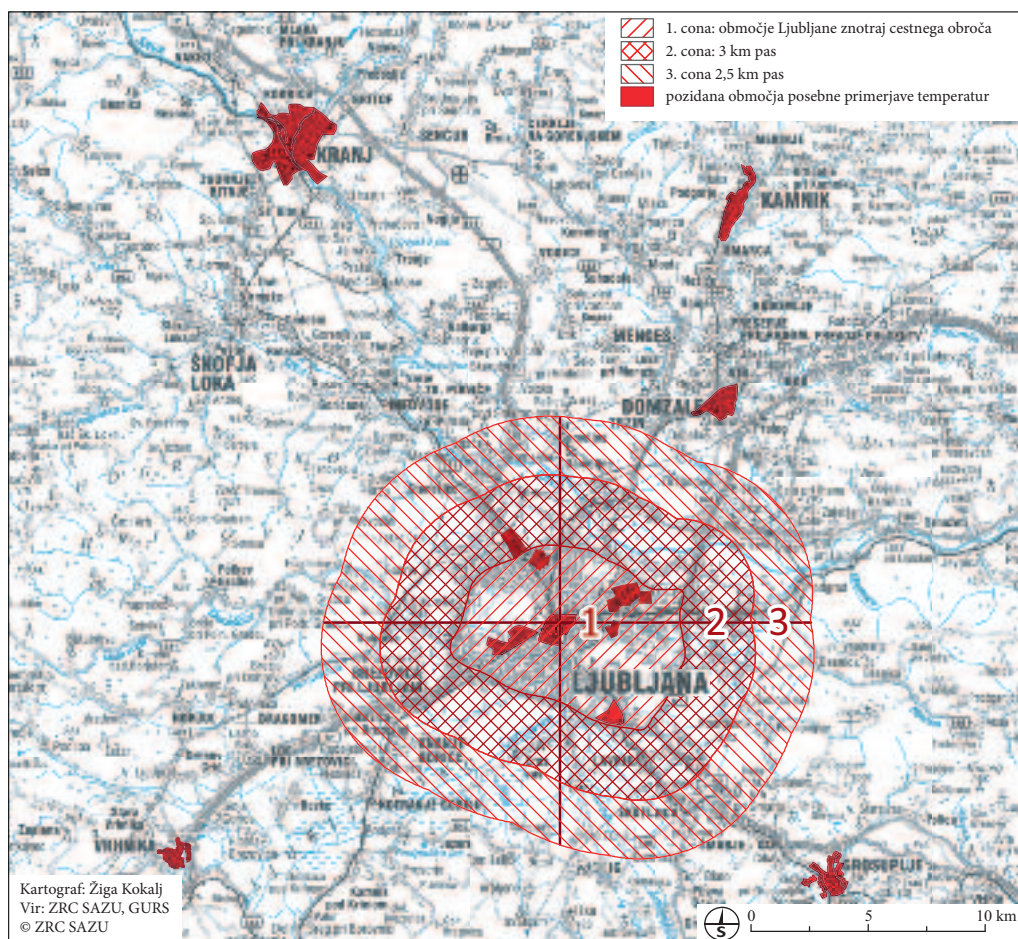
### 3 Razdelitev preučevanega območja po conah in glede na rabo tal

Za analizo temperatur smo območje Ljubljane razdelili na tri pasove oziroma cone. Prva cona je znotraj avtocestnega obroča, druga se razprostira 3 km od roba prve in tretja 2,5 km od roba druge cone (slika 3). Območju znotraj con smo rabo tal pripisali iz baze Dejanske rabe zemljišč Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Upoštevali smo pozidana in sorodna zemljišča, gozd, travnike in kmetijska zemljišča. Skupke pozidanih zemljišč s površino manjšo od ločljivosti termičnega kanala (1 ha) smo izločili iz obravnave. Izločili smo tudi vodna območja, saj imajo le-ta velik vpliv na temperaturo.

Prvo cono smo nadalje razdelili na mestne četrti, medtem ko smo drugo in tretjo cono razdelili na območja naselij. Dodatno smo v analizo vključili pozidana zemljišča manjših sosednjih mest (Kranj, Domžale, Kamnik, Vrhnika, Grosuplje) (slika 3) in nekatera zanimivejša območja znotraj Ljubljane (slika 4):

- center oziroma jedro toplotnega otoka, kot ga je opredelil Jernej (2000),
- industrijska območja (Litostroj, Stegne),
- nakupovalno-poslovna območja (BTC, Rudnik),
- stanovanjska območja (Rožna dolina, Kodeljevo),
- nekateri parki.

Primerjava med temi območji poda boljši lokalni pregled temperaturnega stanja mesta. Vpliv rabe tal na dvig temperature smo podrobneje preučili z analizo prerezov. Temperaturno nihanje skozi celotno obravnavano območje Ljubljane prikazujeta prereza, ki potekata v smeri sever–jug in zahod–vzhod (slika 3). V središču mesta pa smo naredili več manjših prerezov (slika 4), s katerimi smo pod drobnogled vzeli zelena (na primer Rožnik, Argentinski park, park Zvezda) in vodna zemljišča (Ljubljanica).



Slika 3: Temperature smo primerjali glede na tri cone oddaljenosti od središča Ljubljane, rabe tal, glede na posebna območja primerjave (izbrana sosednja mesta, nekatera območja v Ljubljani, izbrani ljubljanski parki) in glede na prerez v smeri sever–jug in zahod–vzhod (rdeč križ na sliki).



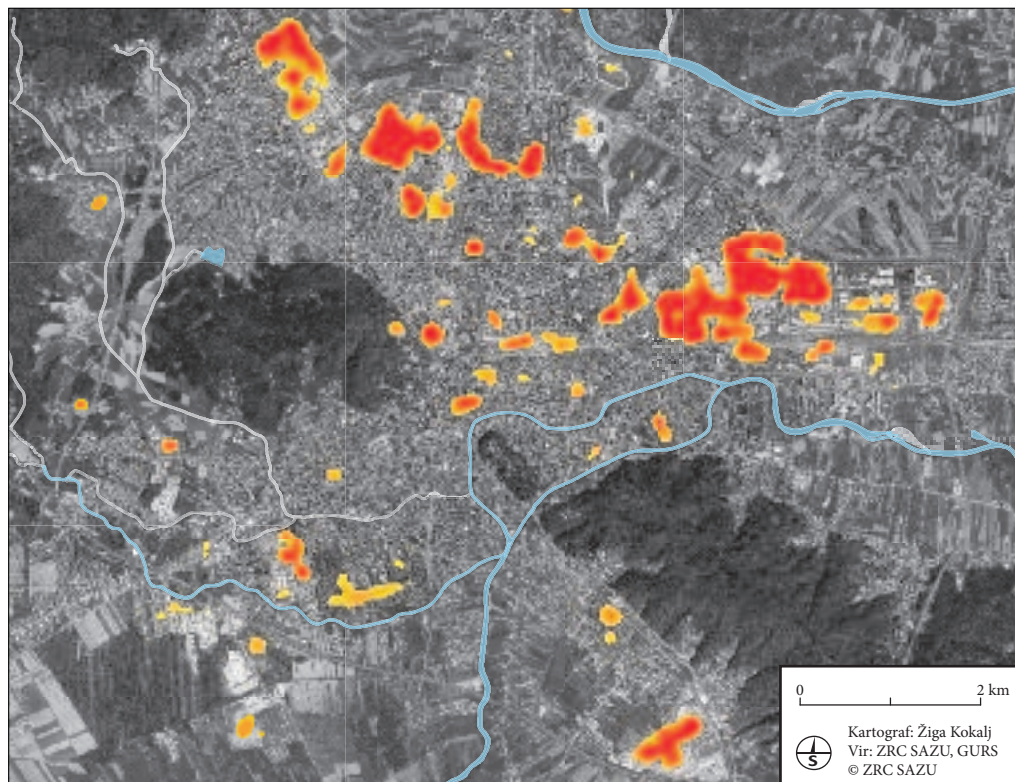


Slika 4: V primerjavo temperatur smo vključili nekatera posebej zanimiva območja. Z rdečo so označena pozidana zemljišča, z zeleno pa nekateri parki in večje zelenice. Prikazani so tudi prerezi za ugotavljanje vpliva različne rabe na temperaturo tal. Z rdečo sta označena prereza, ki potekata v smeri sever–jug in zahod–vzhod, z zeleno prerezi, ki potekajo prek zelenih območij (Rožnik, grajski grič, vrtički na Viču, ob avtocesti) in z modro prerezi, ki potekajo prek voda (Gradaščica, Mali graben, Ljubljanka, Gruberjev kanal).

#### 4 Analiza podatkov o temperaturi tal

Temperatura tal je odvisna tudi od vrste rabe tal, ki prevladuje na nekem območju. Velike nakupovalno-poslovne površine z visoko stopnjo pozidanosti in posledično nizkim vegetacijskim indeksom delujejo kot ogromna telesa z veliko toplotno kapaciteto, ki shranjeno toploto počasi oddajajo nazaj v ozračje. Zaradi tega nekatera pozidana zemljišča skozi celo leto presegajo povprečne temperaturne vrednosti in se v toplejšem delu leta pogosto pregrevajo. To so tako imenovane vroče točke (slika 5). V Ljubljani izstopa zlasti nakupovalno-poslovno območje BTC ter okoliški industrijski obrati in skladišča. Pregreva se tudi pas velikih prodajno-skladiščnih poslopij v Bežigradu, industrijsko območje nekdanjega Litostroja v Zgornji Šiški, industrijska cona in nakupovalno središče v Stegnah ter nakupovalni središči na Rudniku in Viču. V središču mesta izrazitega pregrevanja ne beležimo; najtoplejši deli so tovarna Union, Klinični center in železniški tiri ob glavni postaji.

Razdelitev Ljubljane na pasove oziroma cone je bila izvedena za namen ugotavljanja pojava mestnega toplotnega otoka. Slednjega smo določevali kot odstopanje med temperaturo v posamezni coni



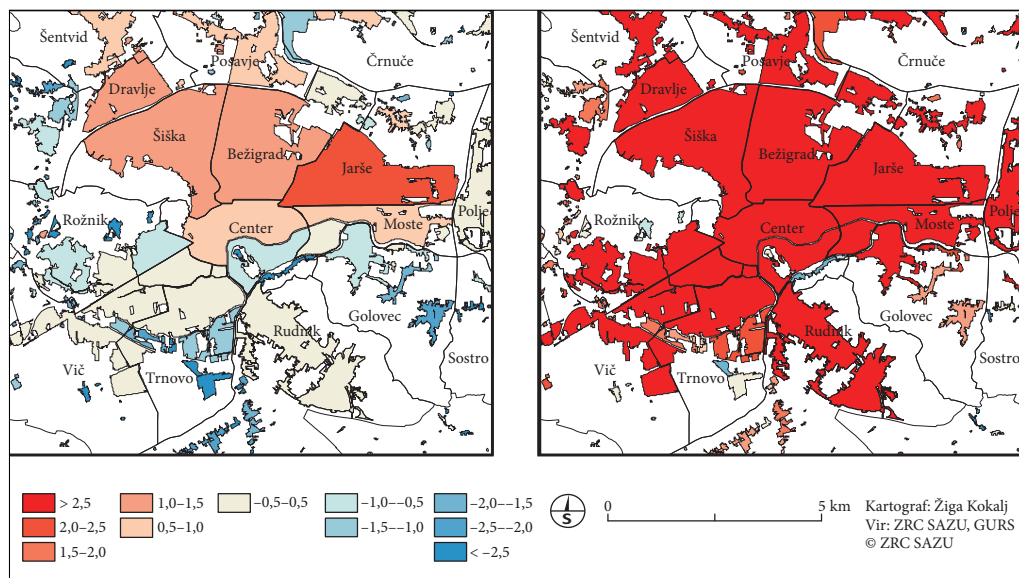
*Slika 5: Frekvenca pojavljanja zgornjih dveh odstotkov najvišjih temperatur na pozidanih območjih brez decembrskega in januarskega posnetka. Slednjih nismo vključili v analizo zaradi preveč poudarjenega vpliva južnih pobočij.*

in povprečno temperaturo. Ugotovitve kažejo, da je temperatura prve cone vedno toplejša od povprečja, temperatura druge je blizu povprečja, temperatura tretje cone pa je podpovprečna. Rezultat je viden kljub temu, da so v prvi coni upoštevana tudi obsežna gozdna zemljišča Golovca, Rožnika in Šišenskega hriba. Pojav je glede na temperaturo tal okrog desete ure zjutraj bolj izrazit v toplejšem delu leta, ko je prva cona tudi za več kot štiri stopinje toplejša od tretje, pozimi pa je neizrazit. Za posplošitev trditve bi potrebovali še nočne posnetke in več dnevnih opazovanj. Delitev po conah je arbitrarna, zato več povedo zemljevidi primerjav temperatur pozidanih območij.

Podrobnejše informacije o temperaturnem stanju mesta podaja analiza pozidanih zemljišč, s katero smo ugotavljali razlike med posameznimi pozidanimi območji glede na temperaturo ostalih pozidanih območij in povprečno temperaturo.

Zemljevidi razlik v temperaturi posameznih pozidanih območij in povprečno temperaturo vseh pozidanih zemljišč (slika 6, levo) razkrijejo, koliko je določeno območje toplejše oziroma hladnejše od ostalih pozidanih zemljišč. Zemljevidi razlik v temperaturi posameznih pozidanih območij in povprečno temperaturo vse rabe v vseh treh conah (slika 6, desno) pa, koliko je posamezno območje toplejše ali hladnejše od povprečne temperature. Na ta način lahko hitro ugotovimo, katere mestne četrti so v povprečju toplejše in jim je pri izvajanju ukrepov treba nameniti več pozornosti.

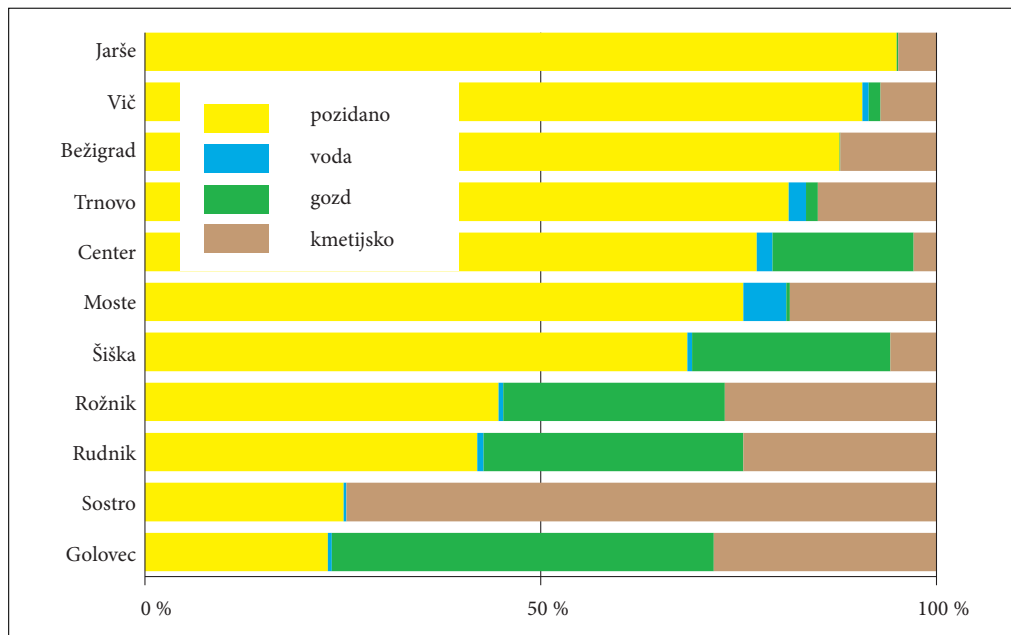
Povprečne temperature mestnih četrti znotraj cestnega obroča povzema tudi preglednica 2, slika 7 pa podaja delež posamezne rabe tal v tej četrti znotraj cestnega obroča. Omeniti velja, da so domala



Slika 6: Odstopanje povprečnih temperatur posameznih območij pozidanih zemljišč od povprečne temperature vseh pozidanih zemljišč (levo). Iz zemljevida je razvidno, ali je posamezno območje, naprimer center, toplejše ali hladnejše od ostalih pozidanih zemljišč v vseh treh conah. Odstopanje povprečnih temperatur posameznih območij pozidanih zemljišč od povprečne temperature vseh zemljišč v vseh treh conah (desno). Iz zemljevida je razvidno ali je posamezno območje, na primer center, toplejše ali hladnejše od trenutne povprečne temperature, zato so domala vsa pozidana zemljišča precej toplejša od ostalih. Stanje 20. 7. 2013 ob 9:48.

Preglednica 2: Mestne četrtne skupnosti znotraj cestnega obroča in temperature tal (°C). Četrtne skupnosti so razporejene glede na delež pozidanih zemljišč znotraj obroča.

	15. 4. 2013	18. 6. 2013	20. 7. 2013	12. 8. 2013	31. 10. 2013	2. 12. 2013	12. 1. 2014	8. 3. 2014
Jarše	28,6	38,3	37,1	35,8	18,5	6,6	11,2	14,3
Vič	27,2	36,2	34,8	34,0	14,8	6,7	11,6	13,0
Bežigrad	27,4	36,9	36,2	34,9	17,6	6,3	11,2	13,3
Trnovo	27,0	34,9	34,1	33,0	16,8	6,9	11,9	13,2
Center	26,6	34,9	33,9	32,8	17,0	6,2	11,1	12,5
Moste	26,4	35,4	35,0	34,0	17,6	6,3	11,1	13,1
Šiška	26,3	33,2	33,9	33,0	16,9	6,1	11,0	12,5
Rožnik	25,2	33,1	32,3	31,9	16,1	6,4	11,5	11,9
Rudnik	25,7	32,0	31,7	31,7	16,9	6,6	11,6	12,5
Sostro	25,4	33,8	33,8	33,8	17,6	6,1	11,2	12,8
Golovec	24,0	30,9	30,7	30,3	16,3	5,4	10,4	11,4
nepozidano vse cone	24,2	30,8	30,6	30,6	16,0	6,1	11,2	11,6



Slika 7: Deleži osnovnih kategorij rabe tal po četrtnih skupnostih znotraj cestnega obročja.

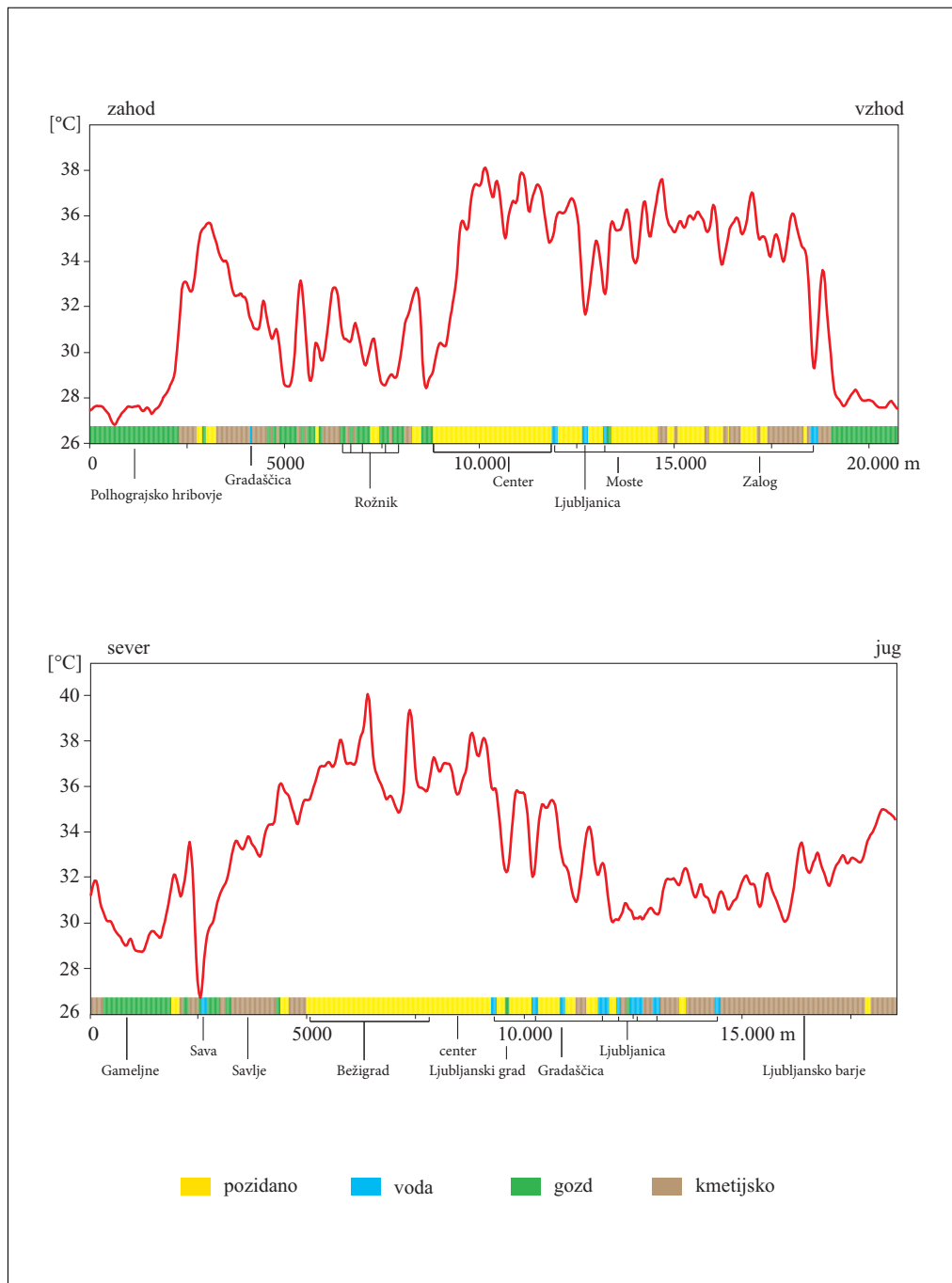
vsi deli znotraj obročja toplejši od okolice. Poleti je razlika zelo očitna. Na primer 20. julija 2013 je bila povprečna temperatura nepozidanih zemljišč v vseh treh conah  $30,6^{\circ}\text{C}$ , temperatura pozidanih zemljišč znotraj obročja v četrti Jarše  $37,1^{\circ}\text{C}$ , Šiška in Center pa  $33,9^{\circ}\text{C}$ . Razlike so pozimi manjše. Decembra je bila povprečna temperatura nepozidanih zemljišč  $6,1^{\circ}\text{C}$ , temperatura pozidanih zemljišč znotraj obročja v četrti Jarše  $6,6^{\circ}\text{C}$ , Šiška  $6,1^{\circ}\text{C}$  in Center  $6,2^{\circ}\text{C}$ .

Vpliv zelenja in vode na temperaturo v okolici smo podrobneje preučili s profiliranjem. Preseka, ki potekata prek vseh treh con v smeri sever–jug in zahod–vzhod zelo lepo prikažeta pojav mestnega toplotnega otoka, saj je temperatura tal očitno višja na pozidanih območjih (slika 8). Na prerezu v smeri sever–jug je s padcem temperature zelo jasno izražen vpliv Save kot tudi vpliv Ljubljane, ki prereza večkrat prečka. Iz prerezov je razvidno, da že majhna vodna zemljišča in drevesno rastje znatno vplivajo na temperaturo tal. Ta vpliv je še posebej pomemben na območjih, kjer prevladuje stanovanjska raba, saj lahko z zelenimi in vodnimi zemljišči v veliki meri uravnavamo urbano mikroklimo.

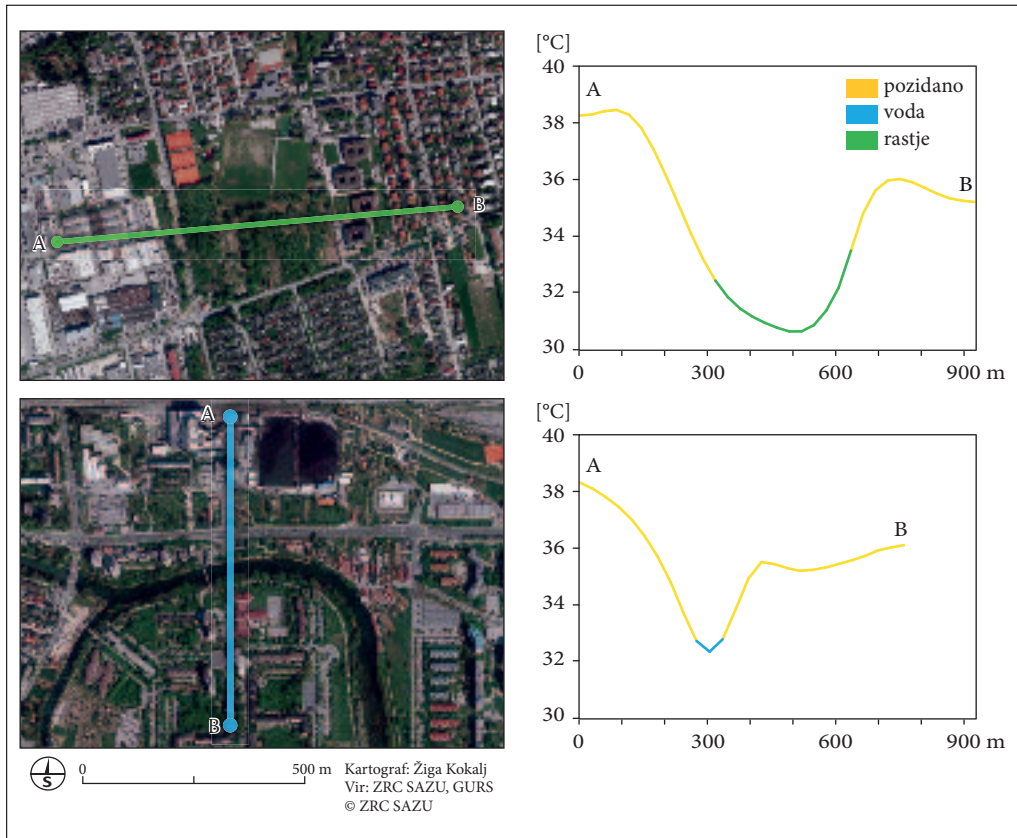
Vpliv večjih gozdnih zemljišč na padec temperature tal je moč opaziti do oddaljenosti približno 200 m od gozdnega roba (primer prikazuje slika 9, zgoraj). Vpliv vode pa je v veliki meri odvisen od razlike v temperaturi vode in okolice, širine reke in stopnje pozidanosti v okolici reke. Vpliv je mogoče opaziti do razdalje med 50 in 150 m (primer prikazuje slika 9, spodaj).

## 5 Sklep

Rezultati analiz z izjemo zimskega obdobja potrjujejo obstoj mestnega toplotnega otoka, ki je najbolj izrazit v poletnem času. Satelitski sistem *Landsat* omogoča ažurno spremljanje tovrstnega pojava in z uporabo primernih algoritmov natančno določanje njegove jakosti. Znotraj mestnega jedra največje temperaturne vrednosti dosegajo industrijska območja in nakupovalno-poslovna središča, ki se poleti pogosto pregrevajo. Na teh območjih primanjkuje zelenih in vodnih zemljišč, ki imajo izrazito



Slika 8: Povprečne temperature tal v najtoplejših preučevanih dneh po prerezih sever-jug in zahod-vzhod, z označeno rabo tal in glavnimi orientacijskimi točkami. Zaradi preglednosti je širina vodotokov povečana.



Slika 9: Slika lokacije in prerez temperature za 20. 7. 2013 čez del industrijske cone, območje vrtov in del stanovanjske soseske na Viču (zgoraj) ter čez toplarno, Ljubljano in del Štepanjskega naselja (spodaj).

blagodejen vpliv na temperaturo tal. Današnji način življenja onemogoča, da bi pojav toplotnega otoka popolnoma odstranili, lahko pa skušamo omejiti njegovo jakost. Rezultate analiz lahko obravnavamo kot ključne kazalnike, ki podajajo smernice za nadaljnji razvoj mesta.

## 6 Viri in literatura

- Edwards, A. J., Mumby, P. J. 1999: Radiometric correction of satellite images: when and why radiometric correction is necessary. Applications of Satellite and Airborne Image Data to Coastal Management, Coastal Region and Small Island Papers 4. Pariz.
- Howard, L. 1833: The Climate of London. London.
- Jernej, S. 2000: Analiza klime Ljubljane. Elaborat, Inštitut za geografijo Univerze Karl-Franzens. Gradec.
- Landsberg, H. E. 1981: The Urban Climate. New York.
- Medmrežje 1: [http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/data\\_prod/prog\\_sect11\\_3.html](http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/data_prod/prog_sect11_3.html) (15. 2. 2014).
- Oke, T. R. 1981: Canyon geometry and the nocturnal Urban heat island: Comparison of scale model and field observations. Journal of Climatology 1-3. DOI: 10.1002/joc.3370010304
- Oke, T. R. 1987: Boundary Layer Climates. Cambridge.



# SAMODEJNO PREPOZNAVANJE VEGETACIJSKIH PARAMETROV IZ SATELITSKIH PODATKOV ZA MONITORING SUŠE

**dr. Žiga Kokalj**

*Inštitut za antropološke in prostorske študije, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti in Center odličnosti Vesolje-SI  
ziga.kokalj@zrc-sazu.si*

**dr. Janez Žibert**

*Fakulteta za matematiko, naravoslovje in informacijske tehnologije, Univerza na Primorskem  
janez.zibert@upr.si*

**dr. Peter Rogelj**

*Fakulteta za matematiko, naravoslovje in informacijske tehnologije, Univerza na Primorskem  
peter.rogelj@upr.si*

**Boštjan Muri**

*Center odličnosti Vesolje-SI; bostjan.muri@gmail.com*

**mag. Mateja Iršič Žibert**

*Agencija Republike Slovenije za okolje; mateja.irsic@gov.si*

**Peter Pehani**

*Inštitut za antropološke in prostorske študije, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti  
peter.pehani@zrc-sazu.si*

**dr. Krištof Oštir**

*Inštitut za antropološke in prostorske študije, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti in Center odličnosti Vesolje-SI  
kristof@zrc-sazu.si*

UDK: 528.8:502.51

## IZVLEČEK

### **Samodejno prepoznavanje vegetacijskih parametrov iz satelitskih podatkov za monitoring suše**

V prispevku opišemo razvojne faze sistema za prepoznavanje suše, temelječega na satelitskih podatkih. Sistem je zgrajen s podatki satelitov in talnih meritev rastne dobe (april–oktober) med letoma 2006 in 2012 za območje Slovenije. Strokovnjak je na statistično določenem vzorcu 2008-ih točk strokovno subjektivno opredelil stanje sušnosti, za vsakih pet dni v proučevanem obdobju. Vzorec smo kot učne točke uporabili za izdelavo modela prepoznavanja suše, ki temelji na prikritih modelih Markova. Njegova natančnost je 92 % za sušo in 90 % za ne-sušo. Izdelali smo petdnevne in kumulativne zemljevide suše za leta 2006–2014, ki jasno prikazujejo časovni razvoj in prostorsko razprostranjenost suše in vplive ostalih velikih vremenskih nadlog.

## KLJUČNE BESEDE

*daljinsko zaznavanje, satelitski posnetki, suša, poškodbe rastja, vegetacijski indeksi, strojno učenje*



**ABSTRACT**

***Automatic recognition of vegetation parameters from satellite data for drought monitoring***

*The paper describes development phases of a satellite-data-based drought detection system. The system is based on satellite, ground, and ancillary data for the area of Slovenia in active vegetation period (April–October) for years 2006–2012. A human expert labelled a subset of 2008 statistically selected grid-points, used for development of a drought recognition model. The prototype system is based on hidden Markov models. Its overall accuracy exceeds 92% for drought and 90% for non-drought. Five-day and cumulative drought maps were produced for the period 2006–2014, showing clearly the temporal evolution and spatial distribution of droughts and influences of other large scale weather extremes.*

**KEY WORDS**

*remote sensing, satellite images, drought, vegetation damage, vegetation indices, machine learning*

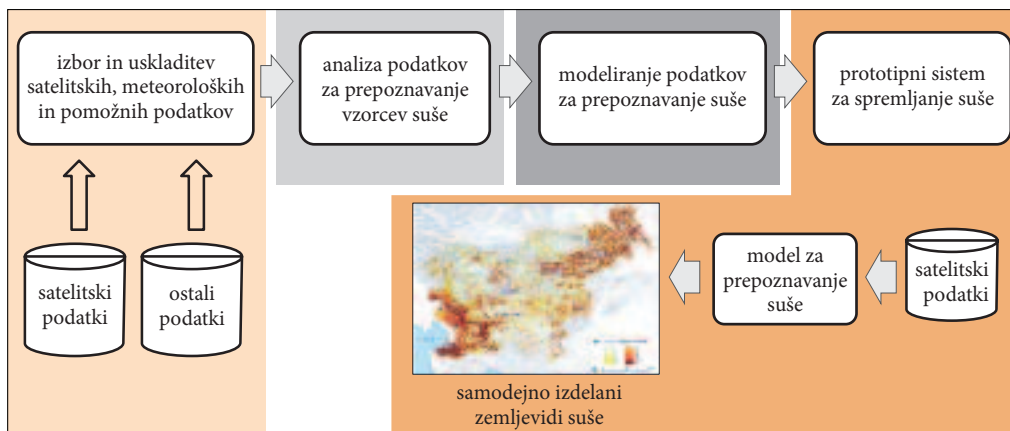
## 1 Uvod

Suša je pomembna za sodobno gospodarstvo, saj vpliva na vodno oskrbo prebivalstva, pridobivanje energije, promet in kmetijstvo. Suša je lahko kratkotrajna, na primer po dveh tednih vodnega primanjkljaja, lahko pa nastaja in traja tudi mesece ali leta in ima tako katastrofalne posledice za prizadeti ekosistem in prebivalstvo. Vendar je lahko uničujoča tudi kratkotrajna, a intenzivna suša. Med letoma 1967 in 1992 so neposredne in posredne posledice suše terjale 1,3 milijona človeških žrtev (Obasi 1994). Na Oddelku za kmetijstvo Združenih držav Amerike (U. S. Department ... 1994) ocenjujejo, da je domala 50 % najbolj obljudenih območij zelo ranljivih na sušo in da se na območjih, ki so podvržena sušam, nahajajo skorajda vsa velika kmetijska območja. Ob pomanjkanju vode za ugoden razvoj poljščin, sadnega drevja, vinogradov, travnikov in gozdov prihaja do zmanjšane kakovosti ali količine pridelka ali celo do popolnega uničenja letine in poškodb trajnih nasadov. Podatki kažejo, da je zaradi pomanjkanja padavin in njihove neugodne časovne razporeditve suša problem in vse večje tveganje tudi v Sloveniji (Sušnik s sodelavci 2013, 109).

Za Slovenijo že obstaja nekaj modelov ocene nevarnosti suše (npr. Sušnik s sodelavci 2010; Vernik s sodelavci 2010), ki jim je skupna odvisnost od prostorsko redko posejanih agro-meteoroloških meritev in izračuna vodne bilance tal. Zato smo zasnovali nov sistem, ki temelji na satelitskih posnetkih in talnih meritvah, za oceno stanja pa potrebuje le satelitske posnetke in je umerjen na podatkih neposrednega preučevanega območja (Slovenije). V drugem podpoglavju tako opišemo zasnovano in zgrajeno zbirke satelitskih in talnih podatkov ter njihovo pripravo za modeliranje. V tretjem podpoglavju orišemo izgradnjo statističnega modela za prepoznavanje suše iz satelitskih podatkov s postopki strojnega učenja in izdelavo prototipnega sistema za samodejno prepoznavanje suše in drugih velikopovršinskih poškodb rasti na območju dane regije. Sledijo praktična uporaba sistema in sklepi.

## 2 Izbor in obdelava podatkov

Izdelali smo usklajeno bazo satelitskih podatkov, talnih (meteoroloških) meritev in pomožnih podatkov različnih državnih inštitucij (MKGP, ARSKTRP, ARSO ...) in mednarodnih organizacij (Esa, Vito in Nasa). Časovno spremenljivi podatki obsegajo obdobje od 1. aprila do 31. oktobra, to je nekako obdobje, ko je rastje najbolj aktivno, med letoma 2006 in 2012. Upoštewane meritve (množina padavin v 24 urah, največja dnevna temperatura, število dni s preseženo temperaturo 30 in 35° C, vlaga v tleh



Slika 1: Zasnova izgradnje sistema za samodejno prepoznavanje suše.

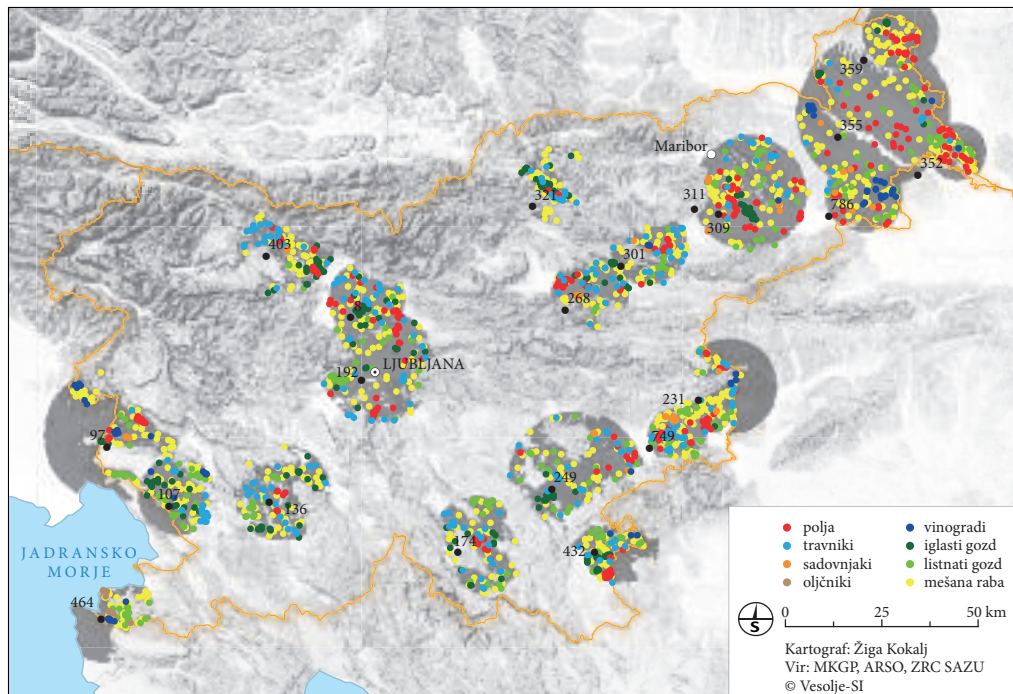
10, 20 in 30 cm globoko) 21 izbranih meteoroloških postaj (slika 2), ki pokrivajo večino kmetijsko pomembnih območij, in rezultate izračuna vodne bilance tal smo uporabili pri označevanju stanja sušnosti.

Sprva smo za primarni vir podatkov želeli uporabiti senzor MERIS na satelitu Envisat s prostorsko ločljivostjo 260 m krat 290 m. Zaradi nenadejane okvare satelita spomladi 2012 smo vključili še podatke (spektralne kanale, ki se zajemajo, ter iz njih izračunane produkte, kot so NDVI, LAI, FAPAR) senzorjev MODIS s satelitov Terra in Aqua s prostorsko ločljivostjo med 250 m in 1000 m in časovno pogostostjo od 1 do 16 dni. Ti podatki premoščajo obdobja do razpoložljivosti podatkov satelitov Sentinel-3 (predvideni izstrelitvi leta 2016 in 2017), ki imajo podobno prostorsko ločljivost in nabor spektralnih kanalov.

Pri vseh satelitskih podatkih (spektralnih kanalih in produktih) smo sledili isti osnovni procesni shemi:

- georeferenciranje v geografsko projekcijo na elipsoidu WGS84,
- preprojeciranje v slovenski državni koordinatni sistem (D48GK) in prevzorčenje v enotno rastrsko mrežo z ločljivostjo 250 m,
- izluščenje ustreznih kanalov,
- pretvarjanje vrednosti celic v fizikalne količine,
- izdelava mask posebnih celic (ni vrednosti, morje, oblaki) iz samih podatkov in spremljajočih kanalov kakovosti,
- združevanje podatkov iz različnih datotek ali/in različnih izsekov oziroma trakov.

Glavni pomožni podatkovni sloji, ki smo jih uporabili, so digitalni model reliefa in iz njega izpeljani izdelki (npr. osončenost, indeks vlažnosti, razgibanost, povprečen nagib), dejanska raba tal, podatki o tipih poljščin za posamezna leta, stanje gozdov in sposobnost prsti za zadrževanje vode. V večini primerov so ti podatki zelo detajlni, tako prostorsko kot vsebinsko, zato smo njihove informacije uporabili selektivno, jih posplošili in/ali opisali z različnimi statistikami.



Slika 2: Meteorološke postaje in njihova vplivna območja (obarvano sivo) ter izbrane točke za strokovno subjektivno označevanje suše. Številke na zemljevidu pomenijo identifikacijske številke postaj.

Časovna pogostost in prostorska ločljivost podatkovnih slojev sta različni. Da bi zagotovili primerljivost in ponovljivost vzorčenja, smo območje Slovenije in njene bližnje okolice razdelili v pravilno mrežo z ločljivostjo 250 m. Točke imajo kazalnike, ki ustrezajo satelitskim meritvam, talnim meritvam in značilnostim tal. Časovno smo vse podatke posplošili v petdnevnem intervalu vzorčenja.

Za strojno učenje smo izbrali vzorec več kot 56.000 točk, pri katerih so na voljo popolni podatki. Ker bi bilo strokovno subjektivno označevanje sušnosti za tako veliko število točk prezahtevno, smo nabor nadalje zožili glede na rabo tal (homogenost) in gručenje po talnih značilnostih (slika 2). Strokovnjak Agencije Republike Slovenije za okolje je pri končnih 2008 točkah označil stopnjo suše oziroma poškodovanosti rastja (trije razredi in razred »stanja ni mogoče zanesljivo opredeliti«) v petdnevni intervalih za celotno preučevano obdobje. Označevanje je temeljilo na ekspertnem znanju in terenskih opazovanjih, arhivskih zapisih o škodi zaradi suše, meteoroloških meritvah, agro-meteoroloških modelih in satelitskih podatkih, vključujoč vegetacijske indekse. Za vegetacijske indekse smo izračunali odmike od povprečij v obravnavanem obdobju (primer prikazuje slika 3).

### 3 Modeliranje in prepoznavanje suše

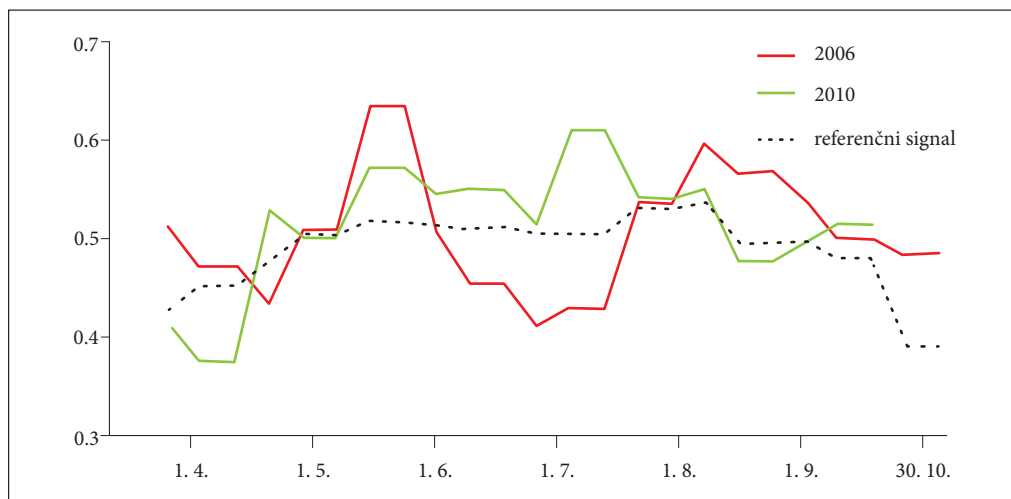
Označene točke smo uporabili v procesu strojnega učenja. Osnovni shemi procesov modeliranja podatkov in zaznavanja suše, ki smo jih izvedli, prikazuje slika 4.

V bazo vključene podatke obravnavamo kot časovne signale v vsaki prostorski točki in so organizirani kot samostojni signali za vsako leto opazovanja (sezonski signali). Vzorce signalov smo pridobili iz:

- relativnih vrednosti glede na referenčni signal in
- časovno-prostorskih izpeljank.

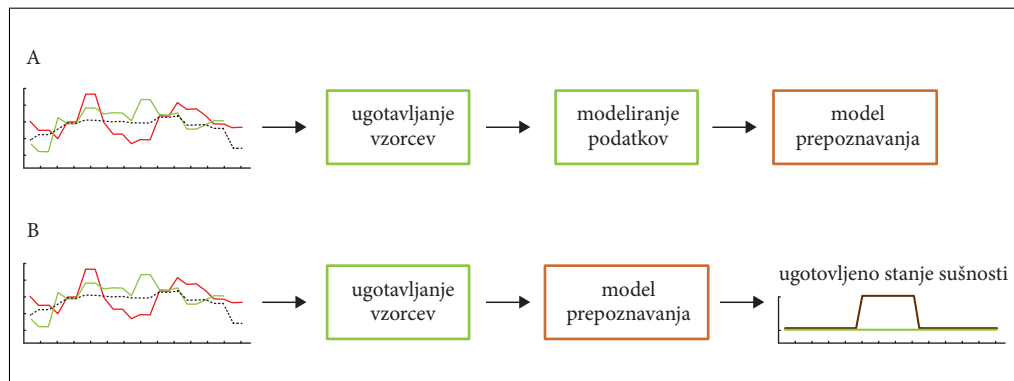
Relevantnost vsakega vzorca za prepoznavanje suše smo ocenili z analizo statistične pomembnosti razlik med vrednostmi vzorcev v odnosu do sušnih oziroma ne-sušnih stanj za različne razrede rabe tal.

Modeliranje podatkov smo izvedli s prikritimi modeli Markova (PMM, angl. *Hidden Markov Models*) (Young s sodelavci 2006), ki omogočajo modeliranje časovno-prostorskih serij in tako opredeljevanje sušnih in ne-sušnih stanj za različna obdobja v sezoni posebej. Splošno strukturo uporabljenih PMM prikazuje slika 5. Odločili smo se za modele s tremi stanji, saj smo želeli zaobjeti stanje suše v različnih

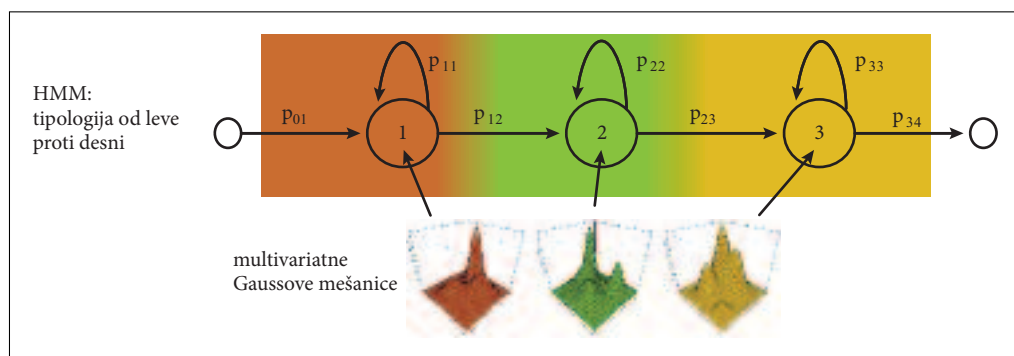


Slika 3: Primer časovne serije indeksa NDVI ene točke za leti 2006 in 2010 ter referenčni indeks za celotno obdobje.

fazah v razvoju rasti) (začetek rasti, glavno obdobje rasti, upad). Vsako stanje prikritega modela Markova je opremljeno z Gaussovo mešanico (GMM, angl. *Gaussian Mixture Model*), ki modelira spremenljivost dogodkov suše in ne-suše v prostoru in času. Vzorčne točke smo razdelili na učne (75%) in testne (25%). S prvimi smo ocenili parametre PMM, z drugimi pa ovrednotili rezultate.



Slika 4: Osnovni shemi procesov modeliranja podatkov (A) in prepoznavanja suše (B).



Slika 5: Splošna struktura uporabljenih prikritih modelov Markova.

Preglednica 1: Natančnost modela za prepoznavanje suše za različne tipe rabe tal.

raba tal	prepoznavanje suše	
	ne-suša	suša
mešana raba	92,1 %	92,8 %
njive	82,4 %	94,1 %
sadovnjaki	88,2 %	88,6 %
oljčniki	88,6 %	91,3 %
vinogradi	87,3 %	95,1 %
iglasti gozd	96,3 %	88,5 %
listnati gozd	95,6 %	98,2 %

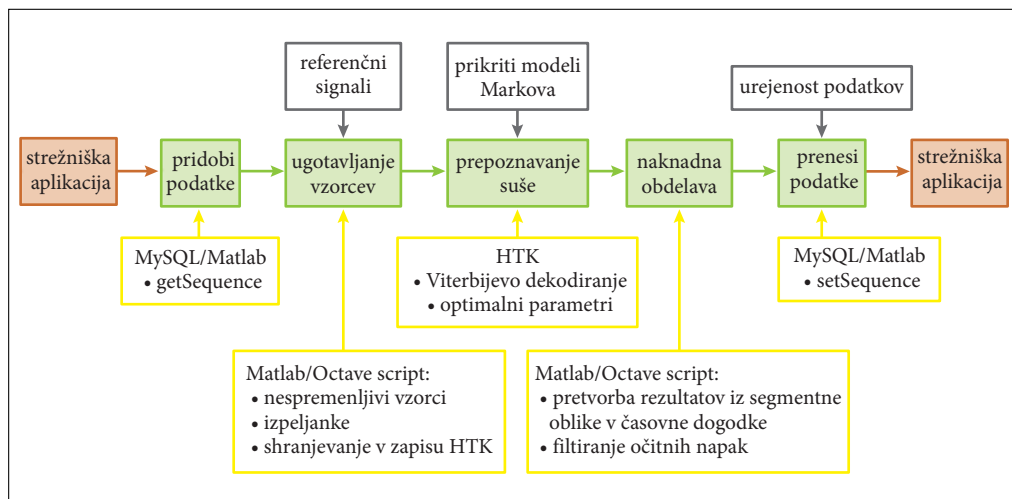
Prepoznavanje suše smo izvedli posebej za vsako fazo za vsako točko. Uporabili smo Viterbijevo dekodiranje (angl. *Viterbi decoding*) (Viterbi 1967), ki stremi k iskanju najbolj verjetne poti čez mrežo prepoznavanja PMM v časovni seriji s pristopom največje verjetnosti. Rezultate smo ovrednotili s primerjavo z referenčnimi stanji, ki jih je označil strokovnjak. Končne rezultate smo dobili s prilaganjem parametrov modela in postopka učenja. Preverjali smo vpliv števila mešanic v stanjih PMM in nastavitve optimalne vrednosti stopnje vrivanja v postopku Viterbijevega dekodiranja. Preglednica 1 prikazuje uspešnost prepoznavanja stanja suše oziroma ne-suše po posameznih tipih rabe tal. Skupna natančnost je zelo visoka: prek 90 % za ne-sušo in prek 92 % za sušo.

Iz pridobljenih modelov prepoznavanja smo razvili prototipni sistem za prepoznavanje suše na vsem območju preučevanja. Njegovo shemo prikazuje slika 6. Deluje v več različicah v programih Matlab in Octave; zaganjati pa ga je mogoče krajevno in na daljavo, torej neodvisno od lokacije podatkovne baze in tudi brez posebne programske opreme.

#### 4 Uporaba sistema za razpoznavanje suše

Prototipni sistem za prepoznavanje suše smo uporabili za izdelavo zemljevidov suše v Sloveniji za obdobje 2006–2014. Nize stanj suše oziroma ne-suše smo izračunali za vsako točko 250 m celične mreže in za vsako rastno dobo posebej (za obdobje med 6. majem in 18. septembrom). Obdelava celotne časovne serije za območje v velikosti več kot 50.000 km<sup>2</sup> je trajala približno 72 ur. Za izločitev najočitnejših manjših napak (šuma) smo rezultate časovno in prostorsko filtrirali; na primer pri časovni seriji stanja suša/ne-suša/suša smo privzeli stanje suša/suša/suša. Iz izračunanih zemljevidov je mogoče opazovati časovni razvoj suše po državi.

Za vsako leto smo stanje povzeli v kumulativni zemljevid suše, ki prikazuje število sušnih dogodkov, torej število sušnih dni, v poletnih mesecih, to je med začetkom junija in koncem avgusta. Čeprav podrobne analize zemljevidov še nismo opravili, rezultati pričajo o skladnosti s splošnim vedenjem o razširjenosti suše v obravnavanem obdobju. Leto 2008 je bilo tipično leto z dovolj padavinami za napolnitev podzemnih zbiralnikov (slika 8). V letih 2006, 2012 (slika 9) in zlasti 2013 je bilo rastje najbolj prizadeto. Suša je dosegla status naravne katastrofe in kmetijski pridelki so bili opustošeni domala po vsej državi. Že iz razmeroma kratke časovne serije podatkov lahko razberemo, da so najbolj sušno prizadete regije



Slika 6: Shema prototipnega sistema za prepoznavanje suše.

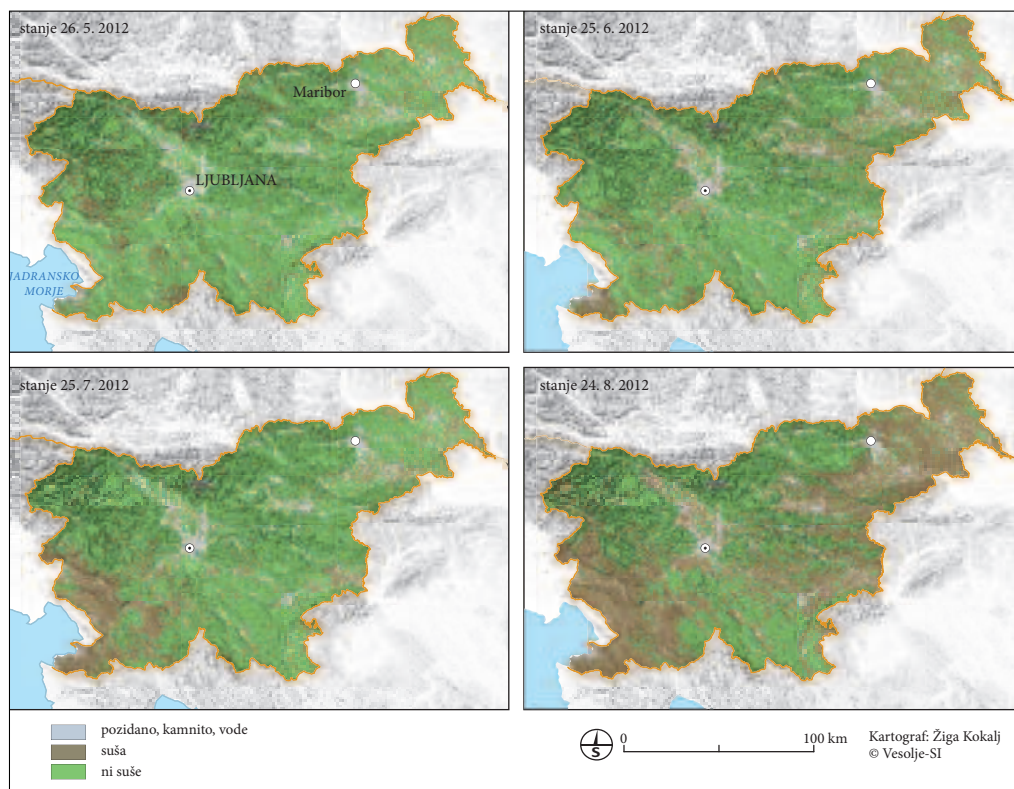
v jugozahodni in severovzhodni Sloveniji, vendar suša prizadane tudi druge konce države. S podrobnejšo analizo prostorske in časovne dinamike izdelanih zemljevidov pa bomo lahko bolje razumeli procese in vzroke za takšno stanje.

## 5 Sklep

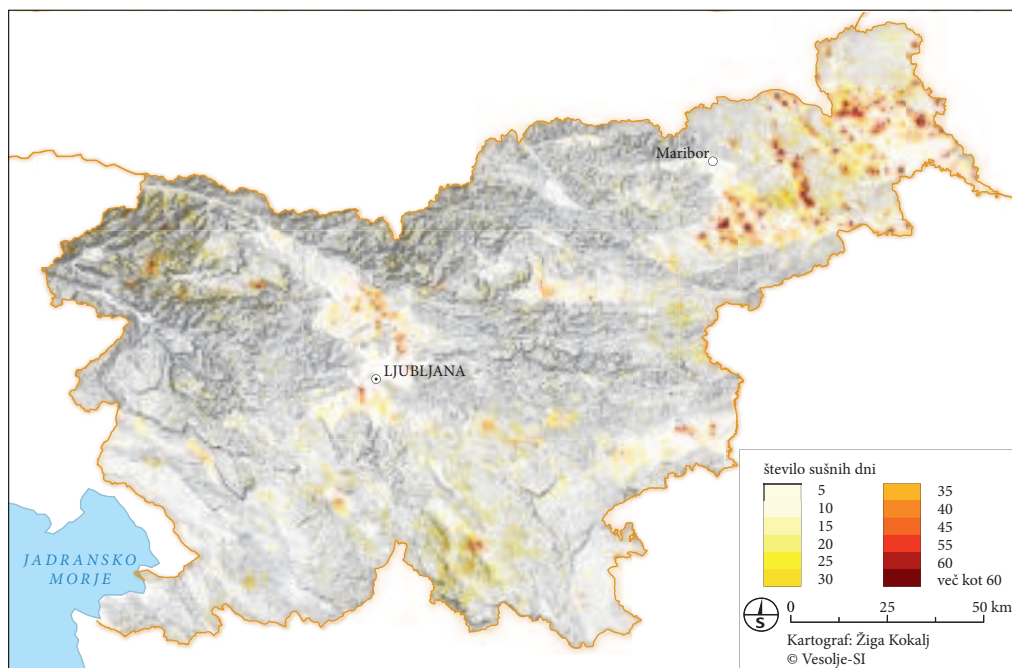
Razvili smo prototipni sistem za prepoznavanje suše. Sistem deluje s podatki satelitov in talnih meritev rastne dobe, umerjen je bil na vzorcu točk. Z njim smo izdelali zemljevide suše v Sloveniji za obdobje 2006–2014.

Trenutno je sistem v predoperativni fazi, ko poteka vrednotenje rezultatov. Deluje s podatki senzorja MODIS na satelitih Terra in Aqua, vendar menimo, da je vsekakor smiselno nadgraditi obstoječ prototipni sistem v operativni servis, ki bo deloval na podatkih satelitov Sentinel-3, krajjeveno pa tudi s prostorsko natančnejšimi podatki satelitov Sentinel-2. Na ta način bomo lahko zagotovili boljšo pokritost in tudi uporabnost na krajevni ravni za kmete in kmetijska združenja.

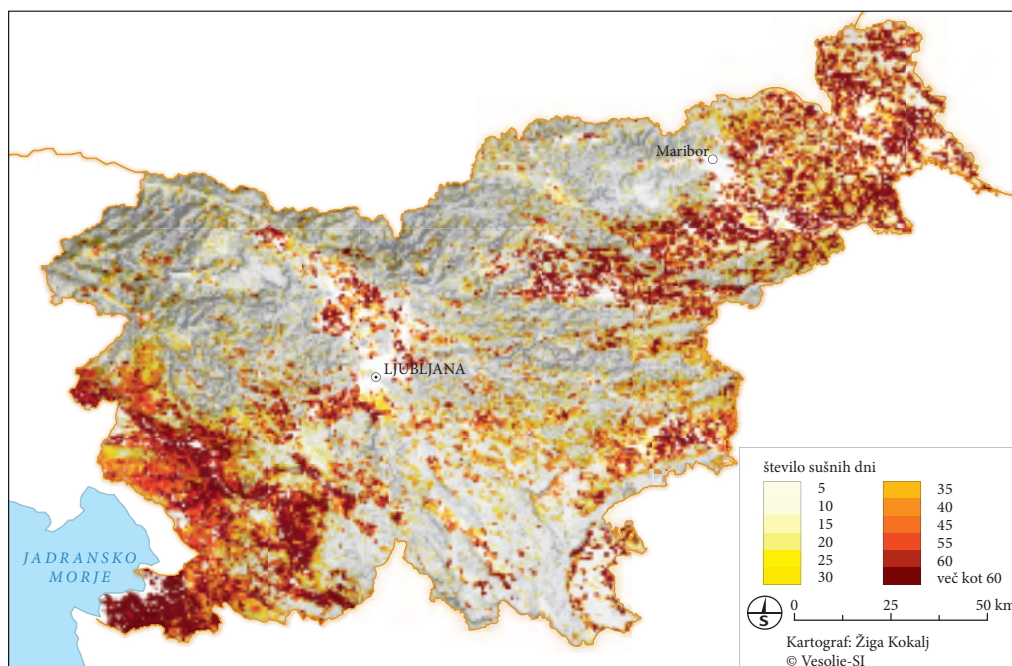
V raziskavi smo se osredinili na območje Slovenije, saj smo imeli za to voljo vse razpoložljive podatke. Vendar so metode zasnovane tako, da lahko z razmeroma preprosto ponovno kalibracijo in ob zagotovitvi referenčnega stanja sušnosti model deluje tudi na drugih območjih. Obstaja velik potencial uporabe metod in rezultatov v različnih državnih agencijah in ministrstvih ter meddržavnih organizacijah, na primer v Centru za upravljanje s sušo v jugovzhodni Evropi (DMCSEE, angl. *Drought Management Center for South Eastern Europe*).



Slika 7: Časovni razvoj suše po državi v mesečnih razmikih leta 2012.



Slika 8: Združeni zemljevid sušnih dogodkov v obdobju junij–avgust za leto brez velikih suš (2008).



Slika 9: Združeni zemljevid sušnih dogodkov v obdobju junij–avgust za leto z ekstremno sušo (2012).



## 6 Viri in literatura

- Obasi, G. O. P. 1994: WMO's Role in the International Decade for Natural Disaster Reduction. *Bulletin of the American Meteorological Society* 75-9.
- Sušnik, A., Gregorič, G., Uhan, J., Kobold, M., Andjelov, M., Petan, S., Pavlič, U., Valher, A. 2013: Spremenljivost suš v slovenskem prostoru in analiza suše 2013. 24. Mišičev vodarski dan. Maribor.
- Sušnik, A., Pogačar, T., Gregorič, G., Roškar, J., Ceglar, A. 2010: Establishment of agricultural drought monitoring at different spatial scales in southeastern Europe. *Acta agriculturae Slovenica* 95-3.
- U.S. Department of Agriculture 1994: Major World Crop Areas and Climatic Profiles.
- Vernik, T., Vrščaj, B., Ceglar, A., Črepinšek, Z., Šajn Slak, A., Ivačič, M. 2010: Suša – od merjenega podatka do GIS portala. *GIS v Sloveniji* 10. Ljubljana.
- Viterbi, A. J. 1967: Information Theory, *IEEE Transactions* on 13-2.
- Young, S. J., Evermann, G., Gales, M. J. F., Hain, T., Kershaw, D., Liu, X., Moore, G., Odell, J., Ollason, D., Povey, D., Valtchev, V., Woodland, P. C. 2006: *The HTK Book (for HTK Version 3.4)*. Cambridge.

## MOŽNOSTI UPORABE LIDARSKIH PODATKOV NA ZAVODU ZA GOZDOVE SLOVENIJE

*dr. Tomaž Šturm, mag. Rok Pisek, dr. Andrej Kobler, Jurij Beguš, Dragan Matijašič*

*Zavod za gozdove Slovenije*

*tomaz.sturm@zgs.gov.si, rok.pisek@zgs.gov.si, andrej.kobler@zgs.gov.si, jurij.begus@zgs.gov.si,*

*dragan.matijasic@zgs.gov.si*

UDK: 528.8.044.6:630\*0(497.4)

### IZVLEČEK

#### ***Možnosti uporabe lidarskih podatkov na Zavodu za gozdove Slovenije***

*Slovenija je s projektom Lasersko snemanje Slovenije (LSS), ki se je zaključil v letu 2015, pridobila množico novih podatkov o reliefu in objektih na zemeljskem površju. Lidarski podatki vsebujejo tudi veliko uporabnih informacij o gozdovih in drevesih v njem. V članku je predstavljeno delo z lidarskimi podatki na Zavodu za gozdove Slovenije. Prikazani so izdelki, ki jih lahko naredimo iz lidarskih podatkov, in njihova uporaba v načrtih za gospodarjenje z gozdovi. Ti podatki so se izkazali za zelo uporabne in postajajo nepogrešljiv del podatkov za gospodarjenja z gozdovi.*

### KLJUČNE BESEDE

*lidar, gozdni sestoj, stalne vzorčne ploskve, gozdna cesta, dmr, dmk*

### ABSTRACT

#### ***The possibility of LIDAR data use in Slovenian Forest Service***

*Project Laser scanning in Slovenia was completed in 2015. The results of the project are new data on relief and objects on the Earth's surface. Lidar data also contain lots of useful information on forests and trees. This article presents Slovenia Forest Service work on lidar data. Shown are products that can be made from lidar data and their use in forest management planning. These data have proven to be very useful and are becoming an indispensable part of forest management data.*

### KEY WORDS

*lidar, forest stand, permanent sample plots, forest road, dtm, dsm*

## 1 Lasersko skeniranje Slovenije

Opisovanje tridrazesežnostnih lastnosti realnih objektov v našem okolju je postalo del človekovega delovanja na mnogih področjih. Zadnjih dvajset let se v ta namen vse bolj uporablja tehnologija prostorskega laserskega skeniranja. Sodobna metoda aerolaserskega skeniranja (ALS, angl. *airborne laser scanning*) s tehnologijo lidar (angl. *light detection and ranging*) je s hitrostjo zajema, z natančnostjo in visoko ločljivostjo prinesla pravo revolucijo na področje topografskih opazovanj. Rezultat laserskega skeniranja je oblak georeferenciranih točk, ki se z naknadno obdelavo klasificira glede na to, od kod se je laserski signal odbil. Njegova natančnost je odvisna predvsem od gostote odbitih točk (število točk na kvadratni meter terena).

Slovenija je s projektom lasersko skeniranje Slovenije (LSS), ki je bil končan v letu 2015, pridobila podatke laserskega skeniranja za celotno območje države. Skeniranje se je izvajalo z gostoto prvih odbojev najmanj 5 točk/m<sup>2</sup> za večino države, na območjih večjih gozdov pa z gostoto najmanj 2 točki/m<sup>2</sup> (Triglav Čekada in Bric 2015). Izdelki projekta LSS so:

- georeferenciran in klasificiran oblak točk (GKOT);
- digitalni model reliefa 1 m krat 1 m (DMR1);
- oblak točk reliefa (OTR);
- podoba analitičnega senčenja DMR1.

GKOT je originalno zajet oblak točk, razrezan na območja velikosti 1 km<sup>2</sup>, višine točk so transformirane v nadmorske. Izdelek je klasificiran v standardne razrede, ki so: teren, nizka, srednja in visoka vegetacija ter stavbe. OTR so originalne točke z nadmorskimi višinami, in sicer le tiste, ki so bile klasificirane v razred reliefa. DMR1 pa je sloj, kjer se točke OTR interpolirajo v pravilno mrežo 1 m krat 1 m. Na voljo je še podoba analitičnega senčenja, izdelana iz DMR1, ki pokriva površino 5 km krat 5 km, kot končni izdelek pa se lahko uporabi za različne vizualne preglede in kot kartografska podlaga (Pegan Žvokelj, Bric in Triglav Čekada 2014).

Podatki lidarskega snemanja se uporabljajo v najrazličnejše namene, na primer: izdelava zemljevidov poplavne varnosti, spremljanje sprememb v okolju, prostorsko načrtovanje, energetika, arheologija, kmetijstvo in gozdarstvo.

## 2 Dejavnost Zavoda za gozdove Slovenije

Spremljanje stanja in razvoja gozdov ter vodenje evidenc in baz podatkov za gozdarstvo so nekatere dejavnosti javne gozdarske službe, ki jo v Sloveniji opravljata Zavod za Gozdove Slovenije (ZGS) in Gozdarski inštitut Slovenije (Zakon o gozdovih 2010). Zavod za gozdove usmerja gospodarjenje z vsemi gozdovi v Sloveniji in zbira podatke o značilnostih gozdov predvsem za izdelavo gozdnogospodarskih načrtov in načrtov za upravljanje z divjadjo. Zbirke podatkov obsegajo baze podatkov o odsekih, sestojih, stalnih vzorčnih ploskvah, funkcijah gozdov, gozdnih prometnicah idr. (Pravilnik o načrtih ... 2010). Osnovne prostorske enote za načrtovanje so gozdnogospodarska in lovsko upravljavska območja ter gozdnogospodarske enote (Zakon o gozdovih 2015).

Za načrtovanje in spremljanje gospodarjenja z gozdovi so gozdnogospodarske enote (GGE) razdeljene na oddelke in odseke, ki so najnižje ureditvene in osnovne načrtovalske enote. Na ravni odseka se zbirajo podatki o površinah gozdov po skupinah lastništev, opisu rastišča, gozdnih združbah, ohranjenosti, lesni zalogi, deležu drevesnih vrst v lesni zalogi, deležu in strukturi mladovja in podmladka in deležu razvojnih faz gozda. Gozdni sestoji niso stalne ureditvene enote, njihove meje se v času in prostoru nenehno spreminjajo. Gozdni sestoji so elementi vodoravne in navpične strukture gozda, ki se od svoje okolice razlikujejo po starosti (razvojni strukturi) in razmerju drevesnih vrst. Z razvojem sestojev se spreminjajo obilje in raznovrstnost zeliščne plasti, drevesna sestava, lesna zaloga, prirastek, kakor tudi delež mrtve biomase ter razmere za pomlajevanje (Poljanec 2005).

Za zbiranje podatkov za ugotavljanje stanja in razvoja gozdov se v Sloveniji uporablja tudi kontrolna vzorčna metoda. Osnova kontrolne vzorčne metode je meritev dreves na stalnih vzorčnih ploskvah (SVP), ki so sistematično pravilno razporejene po celi državi. Postavitev SVP je predpisana s Pravilnikom o gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtih (1998). V internih Navodilih ZGS za snemanje na stalnih vzorčnih ploskvah (2010) je podrobno predstavljena metoda snemanja na SVP, podatki, ki se zbirajo na teh točkah in ukrepi za zagotavljanje kakovosti inventure. Na SVP se popiše vsa drevesa, tako živa kot odmrła (sušice). Metoda stalnih vzorčnih ploskev se uporablja za ugotavljanje lesne zaloge in prirastka po sestojih ter tudi za statistično kontrolo posekane lesne mase.

V konceptu sonaravnega gospodarjenja z gozdovi ima odprtost gozdov z gozdnimi prometnicami pomembno mesto. Gozdne ceste so osnovni skelet, tega pa dopolnjujejo gozdne vlake, protipožarne preseke in protipožarne poti. ZGS izvaja načrtovanje odpiranja gozdov in dopolnjevanje tega omrežja (Pravilnik o gozdnih prometnicah 2009). Položaj gozdnih prometnic služi tudi kot osnovni skelet, na katerega se vežejo drugi gozdarski podatki, zato je točnost zajema grafičnih podatkov pomembna. Pri tem na ZGS že dolgo časa učinkovito koristimo prednosti daljinskega zajema podatkov, s pomočjo katerega hitro in relativno natančno pridobimo grafične zarise gozdnih prometnic.

Gozdovi pokrivajo okoli 58 % površine Slovenije (Poročilo o delu ... 2015). Za vse te površine imamo zdaj na voljo podatke LSS, ki jih že uporabljamo pri gozdnogospodarskem načrtovanju, gojenju in varstvu gozdov ter gozdni tehniki.

### 3 Lidarski podatki

Pri lidarskih podatkih na ZGS lahko govorimo o naslednjih ravneh uporabe:

- podatki na ravni gozdnogospodarske enote;
- podatki na ravni gozdnih sestojev;
- podatki na ravni drevesa;
- podatki o gozdnih prometnicah.

Lidarske podatke na ravni GGE predstavlja senčen digitalni model reliefa (DMR) visoke ločljivosti. Na ravni gozdnih sestojev lahko govorimo o digitalnem modelu krošenj, ki ga dobimo kot razliko med DMR in digitalnim modelom površja (DMP). Ta razlika v gozdu predstavlja višino sestoja. Lidarski podatki na ravni drevesa zajemajo predvsem lokacijo (x, y koordinata) in višino drevesa. Pridobivanje podatkov o gozdnih prometnicah se izvaja na podlagi DMR visoke ločljivosti na ravni celotne države.

#### 3.1 Lidarski podatki na ravni gozdnogospodarske enote

Gozdnogospodarska enota je območje, ki predstavlja zaključeno celoto s površino od 2.000 do 10.000 ha in za katero se vsakih 10 let izdelava gozdnogospodarski načrt. Na ravni GGE uporabljamo iz lidarskih podatkov izdelan DMR1 z velikostjo celice 1 m krat 1 m in višinsko natančnostjo 15 centimetrov (Triglav Čekada, Bric in Oven 2012). DMR1 uporabimo za izračun nekaterih reliefnih značilnosti odsekov, predvsem njegove lege, povprečnega naklona, usmerjenosti glede na smer neba (ekspozicija) in položaja v pokrajini. Pomemben izdelek so tudi izohipse, katerih gostoto se lahko prilagodi glede na trenutne potrebe gozdnogospodarskega načrtovanja.

#### 3.2 Lidarski podatki na ravni gozdnega sestoja

Na terenu izdelana karta gozdnih sestojev vsebuje podatke o značilnostih gozdnega sestoja, podatke o načrtovanih gojitvenih in varstvenih delih, vsak sestoj pa ima ocenjeno tudi lesno zalogo, prirastek in največji možni posek. Lidarski podatki omogočajo neposredno oceno podatkov o nekaterih značilnostih gozdnih sestojev, kot so sestojna višina, razvojna faza in sestojni sklep.

Sestojno višino ocenimo s pomočjo digitalnega modela krošenj (DMK). DMK se izračuna kot razlika med DMP in DMR1. DMK je rastrski grafični sloj, ki vsebuje podatke o relativni višini (v metrih) vegetacije nad gozdnimi tlemi. To nam preko lokalnih maksimumov omogoča identifikacijo lokacije vrha drevesa (x, y koordinata) in njegove višine. Zavedati se moramo, da lidarski podatki višine dreves podcenjujejo, različno glede na skupino drevesnih vrst (iglavci, listavci).

Gozdne sestoje uvrščamo skladno s Pravilnikom o načrtih za gospodarjenje z gozdovi in upravljanje z divjadjo (2010) v eno od enajstih razvojnih faz oziroma zgradb gozda. Z upoštevanjem omejitev je ocenjene višine dreves v gozdnem sestoju mogoče povezati z debelino dreves. Informacijo o drevesnih vrstah, premerih ter višinah dreves na SVP pridobimo ob izvedbi inventure gozda. Iz teh podatkov izdelamo regresijske krivulje po skupinah drevesnih vrst, ki ponazarjajo povezavo med debelino drevja in njihovo višino (slika 1).

Veljavna sestojna karta izpred 10 let, ki jo s pomočjo lidarskih podatkov želimo obnoviti, nam poda informacijo o tem, katera skupina drevesnih vrst na posameznem območju prevladuje, kar je osnova za izbiro primerne regresijske krivulje. Te nam omogočajo reklasifikacijo sestojnih višin v eno od treh razvojnih faz (mladovje, drogovnjak ali debeljak) (slika 2). Površine manjše od 500 m<sup>2</sup> smo priključili sosednjemu sestoju z najdaljšo skupno mejo.

Sestojni sklep predstavlja gostoto (sklenjenost krošenj in njihovo zastornost) v plasti krošenj. Ločimo štiri razrede sestojnega sklepa in sicer: tesen, normalen, rahel ter vrzelast do pretrgan (Pravilnik o načrtih ... 2010). Sestojni sklep iz lidarskih podatkov dobimo iz oblaka točk GKOT. Uporabili smo metodo razmerja med točkami, ki predstavljajo odboj od vegetacije glede na vse odboje. Dobljena razmerja odbojev (0 do 1) smo reklasificirali v enega od štirih razredov sestojnega sklepa (slika 2). Pri postopku vektorizacije se upošteva minimalna površina objekta 500 m<sup>2</sup>.



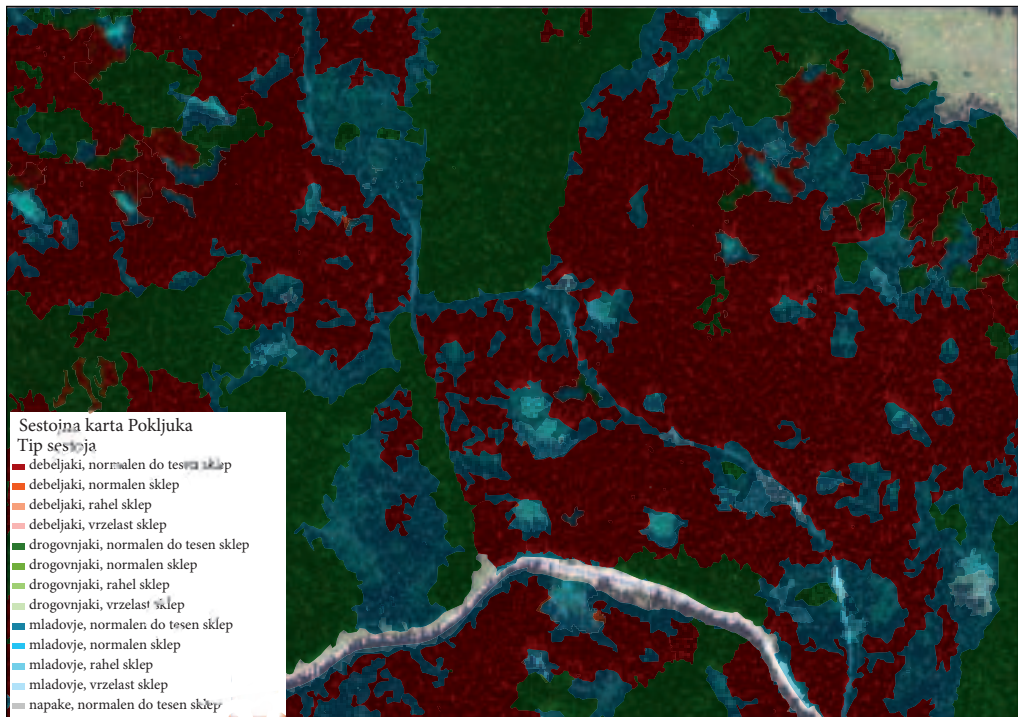
Slika 1: DMK klasificiran glede na višino in debelino dreves.

Trenutno na ZGS izdelujemo sestojne karte na terenu s pomočjo predhodne digitalizacije v pisarni ob uporabi digitalnih ortofoto posnetkov. Lidarski podatki omogočajo računalniško izdelavo poenostavljene sestojne karte, ki je lahko primerna osnova za izdelavo »prave« sestojne karte. Lidarski podatki nam omogočajo določitev meja gozdnih sestojev glede na razvojno fazo in/ali sestojni sklep, to pa je tudi osnova za izdelavo »prave« sestojne karte na terenu. Poenostavljena sestojna karta vsebuje vse možne kombinacije treh razvojnih faz (mladovje, drogovnjak in debeljak) ter štirih razredov sestojnega sklepa (tesen, normalen, rahel in vrzelast) (slika 2).

Podatki računalniško izdelane poenostavljene sestojne karte so bili preverjeni na terenskem ogledu, ki smo ga izvedli na območju GGE Pokljuka. Na terenu smo naredili primerjavo med izračunanimi podatki s stanjem v naravi na 23 točkah. Izkazalo se je, da je poenostavljena sestojna karta zarisana zelo primerno in dobra osnova za izdelavo prave sestojne karte GGE.

### 3.3 Lidarski podatki na ravni drevesa

Lidarski podatki na ravni drevesa vsebujejo podatke, ki jih lahko pridobimo iz oblaka točk o posameznem drevesu. Iz obstoječih lidarskih podatkov za celo državo lahko ugotovimo lokacije vrhov dreves (x, y koordinate) in njihove višine. Izračunani vrhovi dreves predstavljajo samo drevesa v zgornjem sestojnem sloju (slika 5). Lokacije iglavcev so zaradi koničaste oblike krošnje določene točneje kot lokacije listavcev, kjer se krošnje med seboj pogosto prepletajo in ne kažejo izrazitih vrhov, ki bi jih bilo mogoče prepoznati na DMK. Za prepoznavanje vrhov dreves iz DMK uporabimo metodo lokalnega maksimuma. S to metodo korakoma točko za točko pomikamo okroglo ali kvadratno okno čez rastrsko sliko DMK in vsakič poiščemo najvišjo točko DMK. Pri vodoravni ločljivosti DMK 1 m



Slika 2: enostavna sestojna karta na primeru GGE Pokljuka.

je primerna velikost okna 3 krat 3 do 7 krat 7 toč, odvisno od razvojne faze gozda. Na ta način dobimo podatke o nadstojnih drevesih za vse gozdove v Sloveniji. Ti podatki so zelo koristni za izračun določenih parametrov na ravni gozdnega sestoja (sestojna višina, zastornost).

### 3.4 Lidarski podatki o gozdnih prometnicah

Uporaba lidarskih podatkov pri digitalizaciji in kontroli zarisa gozdnih prometnic omogoča večjo natančnost zarisa, predvsem gozdnih vlak, ter enostavnejši in hitrejši zajem. V Sloveniji imamo trenutno okoli 110.000 km gozdnih vlak, ki so zaenkrat šele delno zajete v digitalizirani obliki. Pri gozdnih cestah je stanje boljše, saj so vse gozdne ceste v Sloveniji digitalizirane in vključene v enotno podatkovno zbirko. Z uporabo lidarskih podatkov (senčen DMR) si v primeru gozdnih cest obetamo predvsem večjo natančnost zajema podatkov, torej bolj natančen zajem linij v prostoru (slika 3). Opravljena analiza različnih načinov zajema podatkov (Rebolj in Beguš 2015) kaže, da je digitalizacija gozdnih prometnic na podlagi lidarskih podatkov izvedena hitreje in z manjšimi stroški kot z do sedaj uveljavljenimi metodami (na primer ekranska digitalizacija preko DOF5 in TTN, terensko snemanje z GPS, terensko snemanje kot busolni poligon). Digitalizacija gozdnih vlak poteka 3-krat hitreje, digitalizacija gozdnih cest pa kar 9-krat hitreje, kot z uveljavljenimi metodami. Digitalizirane linije gozdnih prometnic so tudi natančneje locirane (slika 3). Natančnost položaja gozdne prometnice ima velik vpliv na načrtovanje gospodarjenja z gozdovi, predvsem pa predstavlja natančna slika gozdnih cest in vlak trdno osnovo, na katero se navezujejo ostali podatki o gozdu in gozdnem prostoru.

## 4 Pogled naprej

### 4.1 Avtomatsko določanje poteka linij gozdnih prometnic

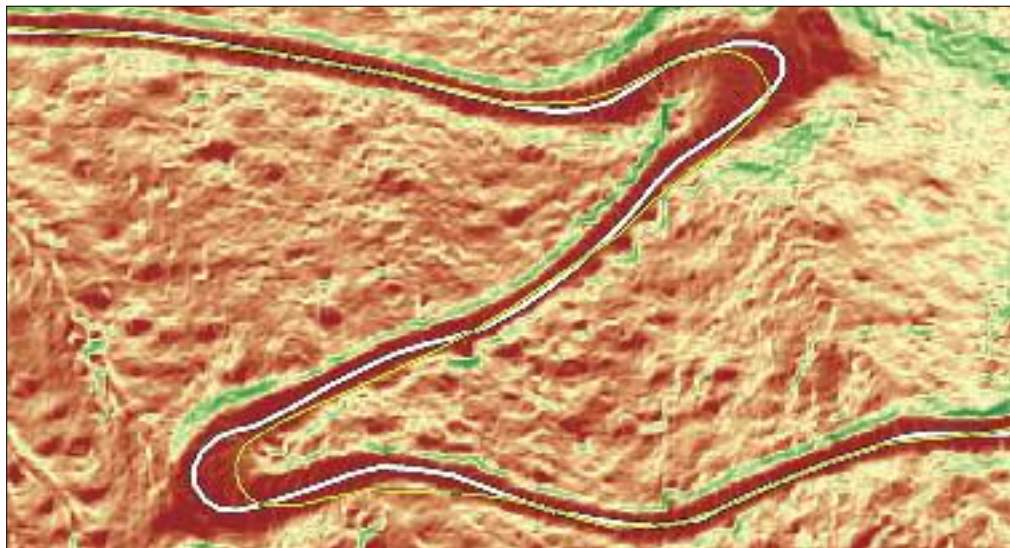
Dandanes se gozdne prometnice zajemajo ročno z metodo digitalizacije iz lidarskih podatkov. Vzpono se že razvijajo računalniški algoritmi, ki bodo avtomatsko določali potek linij gozdnih prometnic (slika 4). Vendar je treba poudariti, da bo pri tem vedno potrebna tudi presoja terenskega kadra. Vsekakor bo razvoj v tej smeri prispeval k manjši porabi časa pri grafičnem zajemu položaja prometnic v prostoru (Beguš 2014).

### 4.2 Vrhovi dreves in SVP

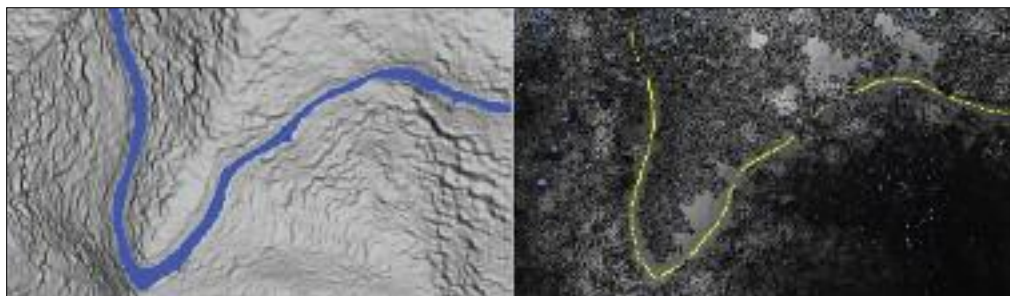
Na SVP najprej v lokalnem koordinatnem sistemu (azimut in razdalja od središča ploskve) določimo lokacijo merjenih dreves), nato pa izmerimo oziroma ocenimo njihove značilnosti (drevesna vrsta, premer, višina, socialni položaj drevesa in njegova kakovost ter morebitna poškodovanost). Iz lidarskih podatkov lahko določimo vrhove dreves in njihovo višino. V prihodnje želimo preveriti, kako se ujemajo lokacije dreves, izmerjenih na SVP in lokacije dreves izračunane iz lidarskih podatkov. Primer takšne primerjave je prikazan na sliki 5. Zaradi nenatančne izmere središča SVP je takšna primerjava včasih nemogoča. Vendar pa bodo iz lidarskih podatkov določeni vrhovi dreves lahko v pomoč ob kontroli podatkov dreves in iskanju odvisnosti med merjenimi premeri dreves in njihovimi višinami.

### 4.3 Drevesa ob avtocesti

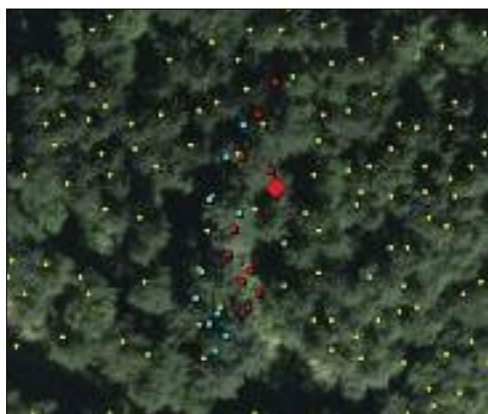
Gozdovi pokrivajo več kot polovico Slovenije in so prisotni tudi ob veliki večini javnih cest. Bližnja drevesa v primeru naravnih ujm predstavljajo potencialno nevarnost v prometu. V raziskavi nas je zanimalo, katera drevesa so glede na svojo višino tako blizu cesti, da lahko padejo nanjo. Analiza je bila izdelana po naročilu DARS-a in sicer na trasi avtoceste A2 na 5 kilometrskem odseku gozda ob cestninski



Slika 3: Primerjava med položajema digitalizirane črte gozdne cest pridobljene iz uradne podatkovne baze (rumena črta) in pridobljene na podlagi lidarskih podatkov (bela črta). Podlaga je tematska karta naklonov (rdeča barva predstavlja nizke naklone, zelena barva visoke naklone) z ločljivostjo 0,5 metra.

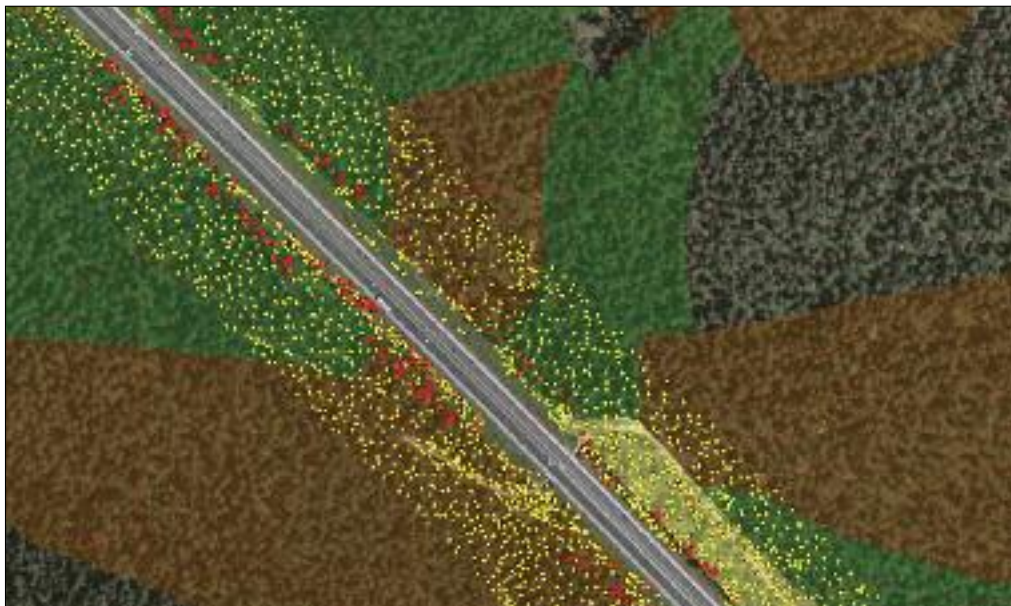


Slika 4: Primer avtomatske digitalizacije gozdnih prometnic



Slika 5: Z rdečo barvo so prikazane lokacije vrhov dreves izračunane iz podatkov SVP in lokacija SVP. Z modro barvo so prikazane lokacije dreves izračunane iz SVP, ki so zamaknjene zaradi ujemanja položaja z izračunanimi vrhovi dreves (rumena barva).





Slika 6: Drevesa, ki potencialno ogrožajo AC danes (rdeče točke) in ob 2 metrskem višinskem prirastku (oranžne točke).

postaji Torovo (slika 6). Manjši vzorec dreves, ki potencialno ogrožajo avtocesto (v primeru naravne ujme bi ta drevesa lahko padla na avtocesto in otežila ali celo onemogočila promet po njej), smo preverili (višine in oddaljenost) tudi na terenu. Tudi v tem primeru se je pokazalo, da lidarski podatki o vrhovih dreves omogočajo izdelavo kakovostnih analiz za različne uporabnike.

## 5 Sklep

Lidarski podatki za celo Slovenijo so za gozdarstvo in ZGS izrednega pomena, saj omogočajo veliko novih možnosti pridobivanja informacij o gozdovih in drevesih, hkrati pa so najpopolnejši podatki o okolju, ki so trenutno na voljo. Poiskati moramo vsa obstoječa znanja za njihovo čim smotrnejšo uporabo pri našem vsakodnevem delu. Navedeni primeri so le nekatere izmed možnosti, ki nam jih ti podatki ponujajo.

Zavedati pa se moramo tudi omejitvev, ki jih ima tokratno LSS, saj je količina točk v oblaku primerena predvsem za izdelavo podatkov na ravni gozdnogospodarske enote in gozdnega sestoja. Na ravni drevesa trenutna gostota točk LSS omogoča le določitev lokacije vrhov dreves in oceno njihove višine. Izračun ostalih značilnosti posameznega drevesa (prsni premer, temeljnica, volumen ter širina, globina, površina in volumen krošnje, drevesna vrsta) trenutno ni mogoč. Za pridobivanje teh podatkov bi bilo treba poleg lidarskih podatkov uporabiti še druge zbrane podatke o gozdovih in drevesih (podatki o gozdnih sestojih, podatki o drevesih izmerjenih na SVP).

Lidarski podatki so omogočili izdelavo najnatančnejšega DMR-ja za Slovenijo, kar je najboljša osnova za izdelavo gozdnih prometnic. ZGS ima izdelano evidenco gozdnih cest za celotno državo, zajete so vse gozdne ceste. DMR nam omogoča tudi zelo natančno zajemanje ostalih gozdnih prometnic (vlake, poti), kar je naloga, ki čaka ZGS v prihodnje.

Podatki, ki smo jih na ZGS izdelali iz lidarskih podatkov bodo, v naslednjih letih v veliko pomoč pri izdelavi gozdnogospodarskih načrtov, predvsem sestojnih kart, kjer pa bo še vedno nujno terensko delo.

Prav gotovo pa uporaba lidarskih podatkov omogoča hitrejšo, natančnejšo in bolj kakovostno izdelavo grafičnih gozdarskih slojev. Prepoznane primerne rezultate iz lidarskih meritev moramo pripraviti tako, da jih bodo v svojih aplikacijah lahko uporabljali vsi zaposleni, ki se vsakodnevno srečujejo z naglami v gozdu in gozdnem prostoru.

Projekt laserskega snemanja Slovenije je bil zaključen v letu 2015 in za dani trenutek predstavlja najpopolnejše podatke o trirazsežnostnem okolju. Iz teh podatkov nastajajo številni izdelki, tudi zgoraj navedeni. Postavlja pa se vprašanje, kako bo z lidarskimi podatki v prihodnje. Velika želja ZGS in gozdarstva je, da bi se lidarsko snemanje ponovilo. Takrat bi vsi izdelki iz lidarskih podatkov o gozdovih in drevesih dobili še dodatno vrednost, ki bi jo omogočile časovne serije snemanj.

## 6 Viri in literatura

- Beguš, J. 2014: »The forest roads information database system«. Poster. Salt Lake City. Navodila za snemanje na stalnih vzorčnih ploskvah. Oddelek za gozdnogospodarsko načrtovanje, Zavod za gozdove Slovenije. Ljubljana, 2010.
- Pegan Žvokelj, B., Bric, V., Triglav Čekada, M. 2014: Lasersko skeniranje Slovenije. Geodetski vestnik 58-2.
- Poljanec, A. 2005: Analiza obravnavanja sestojev kot inventurnih in načrtovalnih enot v gozdarskem načrtovanju. Magistrsko delo, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Poročilo o delu Zavoda za gozdove Slovenije v letu 2014. Zavod za gozdove Slovenije. Ljubljana, 2015.
- Pravilnik o gozdnih prometnicah. Uradni list Republike Slovenije 4/2009. Ljubljana.
- Pravilnik o gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtih. Uradni list Republike Slovenije 5/1998. Ljubljana.
- Pravilnik o načrtih za gospodarjenje z gozdovi in upravljanje z divjadjo. Uradni list Republike Slovenije 91/2010. Ljubljana.
- Rebolj, L., Beguš, J. 2015: Analiza različnih pristopov pri izvedbi digitalizacije gozdnih prometnic. Gozdarski vestnik 73, 5-6.
- Triglav Čekada, M., Bric, V. 2015: Končan je projekt laserskega skeniranja Slovenije. Geodetski vestnik 59-3.
- Triglav Čekada, M., Bric, V., Oven, K. 2012: Prvo vsedrjavno lasersko skeniranje Slovenije. GIS v Sloveniji 11. Ljubljana.
- Zakon o gozdovih. Uradni list Republike Slovenije 106/2010. Ljubljana
- Zakon o gozdovih. Uradni list Republike Slovenije 24/2015. Ljubljana.



## OPAZOVANJE MOTENJ V GOZDOVIH S SATELITSKIMI POSNETKI NIZKE PROSTORSKE LOČLJIVOSTI

**dr. Tatjana Veljanovski, dr. Aleš Marsetič**

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

*tatjana.veljanovski@zrc-sazu.si, ales.marsetic@zrc-sazu.si,*

**Klemen Čotar**

*Center odličnosti Vesolje-SI; klemen.cotar@space.si*

**dr. Krištof Oštir**

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

*kristof@zrc-sazu.si*

UDK: 528.8:630\*0

### IZVLEČEK

#### **Opazovanje motenj v gozdovih s satelitskimi posnetki nizke prostorske ločljivosti**

V prispevku so predstavljene zmožnosti uporabe satelitskih posnetkov nizke prostorske ločljivosti za opazovanje motenj v gozdovih kot so požari, žledolomi, vetrolomi, nedovoljene sečnje in drugi dogodki. V študiji smo se osredinili na satelitske podatke senzorjev SPOT-VEGETATION in PROBA-V, ki sta namenjena spremljanju vegetacije. Zanju smo pridobili časovno vrsto opazovanj dolgo več kot deset let. Velikost in stopnjo motenj smo določali z vegetacijskimi indikatorji s katerimi lahko navkljub razmeroma nizki prostorski, a visoki časovni ločljivosti zaznamo intenzivneje izražene motnje različnih izvorov. Zmožnost zaznave različnih dogodkov smo preučevali na ravni posameznih gozdnogospodarskih enot, vendar je v primeru motnje v manjšem obsegu smiselno v časovni vrsti opazovati le prizadeto območje.

### KLJUČNE BESEDE

*opazovanje gozda, SPOT-VEGETATION, PROBA-V, motnje v gozdu, vegetacijski indikatorji, bio-fizikalni indikatorji*

### ABSTRACT

#### **Observation of disturbances in forests with satellite imagery of low spatial resolution**

This paper presents the possibility of using satellite images of low spatial resolution for the observation of disturbances in forests such as fires, ice sleet damage, wind breakages, illegal logging and other events. In the study we focused on the SPOT-VEGETATION and PROBA-V satellite data, which are used for vegetation monitoring. For them we acquired long-term time series of observations with span of for more than a decade. The extent and the degree of disturbances were determined with vegetation indicators that are able to detect intensely expressed disturbances of various origins, despite of its relatively low spatial, but high temporal resolution. The capability to detect various events was investigated at the level of individual forest management units, but in the case of a disturbance of a smaller extent it is more reasonable to observe only the affected area.

### KEY WORDS

*forest monitoring, SPOT-VEGETATION, PROBA-V, disturbances in forest, vegetation indices, bio-physical indicators*

## 1 Uvod

Motnje v gozdovih so odraz naravnih procesov, ki jih izzovejo izjemni vremenski dogodki, človekovo ravnanje ali odklonski procesi v gozdu. Med značilnejše motnje štejemo požare, žledolome, snegolome, vetrolome, neprilagojeno in nedovoljeno sečnjo, drevesa pa prizadenejo tudi različne bolezni in škodljivci, kot so glive in prenamnožitve podlubnikov. Določene motnje, predvsem tiste, ki imajo škodljive posledice na razvoj in dinamiko gozdne vegetacije ali negativne gozdnogospodarske posledice, torej škodo, bi želeli pravočasno zaznati, opazovati njen razvoj ter se pripraviti z ustreznimi ukrepi gospodarjenja z gozdovi (Marinšek s sodelavci 2015). V študiji smo ugotavljali, ali in kako lahko izbrane motnje v gozdu in njihove posredne ter neposredne učinke in vplive zaznamo, spremljamo in ocenimo s pomočjo tehnologije daljinskega zaznavanja, natančnejše, s satelitskimi posnetki nizke prostorske, a visoke časovne ločljivosti.

Podpora vesoljskim programom, ki so specializirani za študije vegetacije, narašča, ker je njihov prispevek pri spremljanju in beleženju podnebnih razmer na svetovni ravni velik in edinstven (spremljanje emisij in ponorov toplogrednih plinov, primarne produkcije v gozdnih tleh, sprememb v rabi tal in podobno). Uspešne časovno visokoločljive senzorje, kot so SPOT-VGT1 in 2, MODIS in ENVISAT MERIS, nadomeščajo, nadaljujejo in nadgrajujejo sodobnejši, na primer v letu 2013 izstreljen satelit za opazovanje vegetacije PROBA-V, ki nadaljuje poslanstvo SPOT-VGT in v februarju 2016 izstreljeni satelit Sentinel 3, ki bo nadaljeval in dopolnjeval delo instrumentov ENVISAT MERIS in SPOT-VGT (Dierckx s sodelavci 2014). Tovrstne misije z omogočanjem prostega dostopa do satelitskih posnetkov vzpostavljajo zelo dober okvir za redno spremljanje stanja gozdov na svetovni, meddržavni, državni ali krajevni ravni. V prihodnjih letih bodo serije satelitskih podatkov bolj goste (prehod na dnevna, nekajdnevna opazovanja iste lokacije), pri čemer bo močno izboljšana prostorska ločljivost (bistveno pod 100 m). Ker pa se dolgoročno spremljanje površja Zemlje zanaša na podatke različnih senzorjev iz različnih obdobj delovanja, je ključno zagotoviti ustrezno povezljivost med podatki različnih instrumentov ter razumeti, kaj nam satelitske meritve omogočajo.

Daljinsko zaznavnje v študijah vegetacije se je najbolj uveljavilo za kartiranje gozdnih površin in spremljanje stanja, razlikovanje gozdnih sestojev, ugotavljanje sprememb v gozdovih ter za pridobivanje indikatorjev za spremljanje podnebnih sprememb (Xie s sodelavci 2008). Uporaba optičnih satelitskih posnetkov v gozdarstvu je razširjena pri nadzoru zaščitenih območij (habitatov) in intenzivno gospodarsko izkoriščenih gozdov (na primer tropski in subtropski gozdovi), v sistemih zgodnjega opozarjanja na požarno ogroženost in ocenjevanju posledic požarov in vetrolomov v gozdovih (Dees 2014; Schardt s sodelavci 1996), redkejši pa so primeri ocenjevanja posledic po ledenih ujmah (žledolomi, snegolomi) oziroma spremljanju procesov po tovrstnih motnjah (naravna obnova, učinki sanacije).

V študiji smo se osredotočili na podatke ene najuspešnejših namenskih misij za opazovanje vegetacije SPOT ter njene naslednice. Dva satelita SPOT sta vsebovala senzor VEGETATION (VGT), zasnovan za opazovanje vegetacije. Prvi satelit SPOT4 z instrumentom VGT1 je začel delovati leta 1998, sledil mu je še SPOT5 (VGT2), ki je zajemal posnetke vse do sredine leta 2014 (Deronde s sodelavci 2014). Glavni namen instrumentov VGT1 in 2 je bil pridobiti dnevni pregled razvoja vegetacije na svetovni ravni, v 1 km prostorski ločljivosti. Satelit PROBA-V je svoje delovanje nastopil konec leta 2013, s prvotnim namenom nadaljevati poslanstvo SPOT-VGT2 (Dierckx s sodelavci 2014). Podatke zajema vsakih 5 dni v višji ločljivosti (100 m) ter vsak dan v nižji (333 m), v podobnih spektralnih pasovih kot senzor SPOT-VGT, ter zagotavlja nadaljevanje obstoječih vegetacijskih produktov v 1 km ločljivosti.

Pri opazovanju vegetacije iz satelitskih posnetkov in pridobivanju ocene o njenem stanju, si pomagamo z vegetacijskimi in bio-fizikalnimi indikatorji. Razlikujemo vegetacijske indekse, ki jih pridobimo iz raznih kombinacij spektralnih kanalov ter vegetacijske produkte, kjer poleg informacij spektralnih kanalov upoštevamo še druge bio-fizikalne odnose. Ti se navezujejo na izsledke talnih meritev ter naprednega modeliranja odbojnosti rastlin v izbranih okoliščinah. Ker različni indikatorji poudarjajo in podajajo različne informacije o vegetaciji, smo v študiji pripravili širši nabor indikatorjev, z namenom

prepoznati njihove razlike in zmožnosti za zaznavo motenj različnih izvorov v slovenskih gozdovih, v obdobju zadnjih trinajst let.

## 2 Priprava podatkov

V študiji smo uporabili podatke satelitov PROBA-V (od marca 2014 naprej) ter SPOT-VGT 1 in 2 (od leta 2002 do junija 2014). Izbrali smo nekaj izstopajočih dogodkov v slovenskih gozdovih (požar, vetrolom, žledolom) ter opazovali zmožnosti zaznave dogodka v danih okoliščinah ter poznejših učinkov v časovnih vrstah satelitskih podatkov.

Vsi podatki, uporabljeni v analizi, so brezplačno dostopni prek spletnega portala VITO Product Distribution Portal (medmrežje 1) in v mnogih različicah glede na stopnjo obdelave. Izbiramo lahko med podatki popravljenimi le glede na nastavitve satelita (odbojnosti na vrhu atmosfere – produkt TOA – *top of atmosphere*), atmosfersko popravljemini podatki (odbojnosti na površju – produkt TOC – *top of canopy*) in kompoziti, ki so lahko sestavljeni iz enodnevnega opazovanja (produkt S1) ali desetih zaporednih dnevni opazovanj (produkt S10).

V študiji smo za večjo prilagodljivost in nadzor nad podatki uporabili produkte S1 TOA, ki smo jih nato obdelali z lastnimi postopki (Oštir s sodelavci 2015). Atmosfersko korekcijo smo izvedli s komercialnim programom ATCOR2 (Richter in Schläpfer 2014). Ker nas zanimajo le atmosfersko neobremenjeni podatki, so bila iz analize izvzeta vsa območja, ki so bila v tem koraku določena kot zasnežena, oblačna ali senčna.

Naslednji korak priprave podatkov je zajel prilagoditev vrednosti odbojnosti med obema uporabljenima senzorjema (PROBA-V in VGT) zaradi njihovih razlik v širinah spektralnih pasov barvnih detektorjev, času in vidnem kotu snemanja ter prostorske ločljivosti (preglednica 1). Za prilagoditev smo za oba senzorja uporabili produkte s prostorsko ločljivostjo 1 km za obdobje od oktobra 2013 do junija 2014, ko sta oba zajemala podatke. Pogosto uporabljen pristop za prilagoditev med podatki (Meroni s sodelavci 2016), ki smo ga uporabili tudi mi, je izračun linearne regresije med zaznanimi odbojnostmi senzorja SPOT-VGT in PROBA-V za prekrivajoči čas snemanja. S pridobljenimi koeficienti linearne

Preglednica 1: Primerjava lastnosti senzorjev SPOT-VEGETATION in PROBA-V.

		SPOT-VGT	PROBA-V
teža inštrumenta na nosilcu		152 kg	33 kg
velikost inštrumenta na nosilcu		1 m × 1 m × 0,7 m	0,8 m × 0,2 m × 0,35 m
širina pasu snemanja		2250 km	2285 km
prostorska ločljivost v nadirju		1165 m	100 m (VNIR), 200 m (SWIR)
prostorska ločljivost na robu		1700 m	360 m (VNIR), 690 m (SWIR)
spektralna ločljivost			
[valovna dolžina v $\mu\text{m}$ ]	moder (VB)	0,43–0,47	0,45–0,49
	rdeč (VR)	0,61–0,68	0,61–0,69
	bližnji infrardeči (NIR)	0,79–0,89	0,78–0,89
	kratkovalovni infrardeči (SWIR)	1,58–1,75	1,57–1,65
prostorska ločljivost		1 km	1/3 km, 100 m
čas ponovnega obhoda		1 dan	1 in 5 dni
popolnost globalne pokritosti		dnevno	v 2–3 dneh (kopensko površje)

transformacije smo za opazovanje dogodkov, ki so se zgodili v letu 2014 in pozneje, vrednosti odbojnosti PROBA-V preslikali v vrednosti, ki so primerljive s tistimi, ki bi jih zaznal SPOT-VGT.

Ker v študiji obravnavamo motnje v gozdovih, smo za proučevanje zmožnosti zaznave različnih dogodkov vegetacijske indikatorje agregirali na raven posameznih gozdnogospodarskih enot (GGE) in pri izračunu statističnih vrednosti znotraj posamezne enote upoštevali le celice, za katere je bilo na podlagi uporabljenih podatkov iz rabe tal (RABA ... 2008) razvidno, da pripadajo gozdnim površinam.

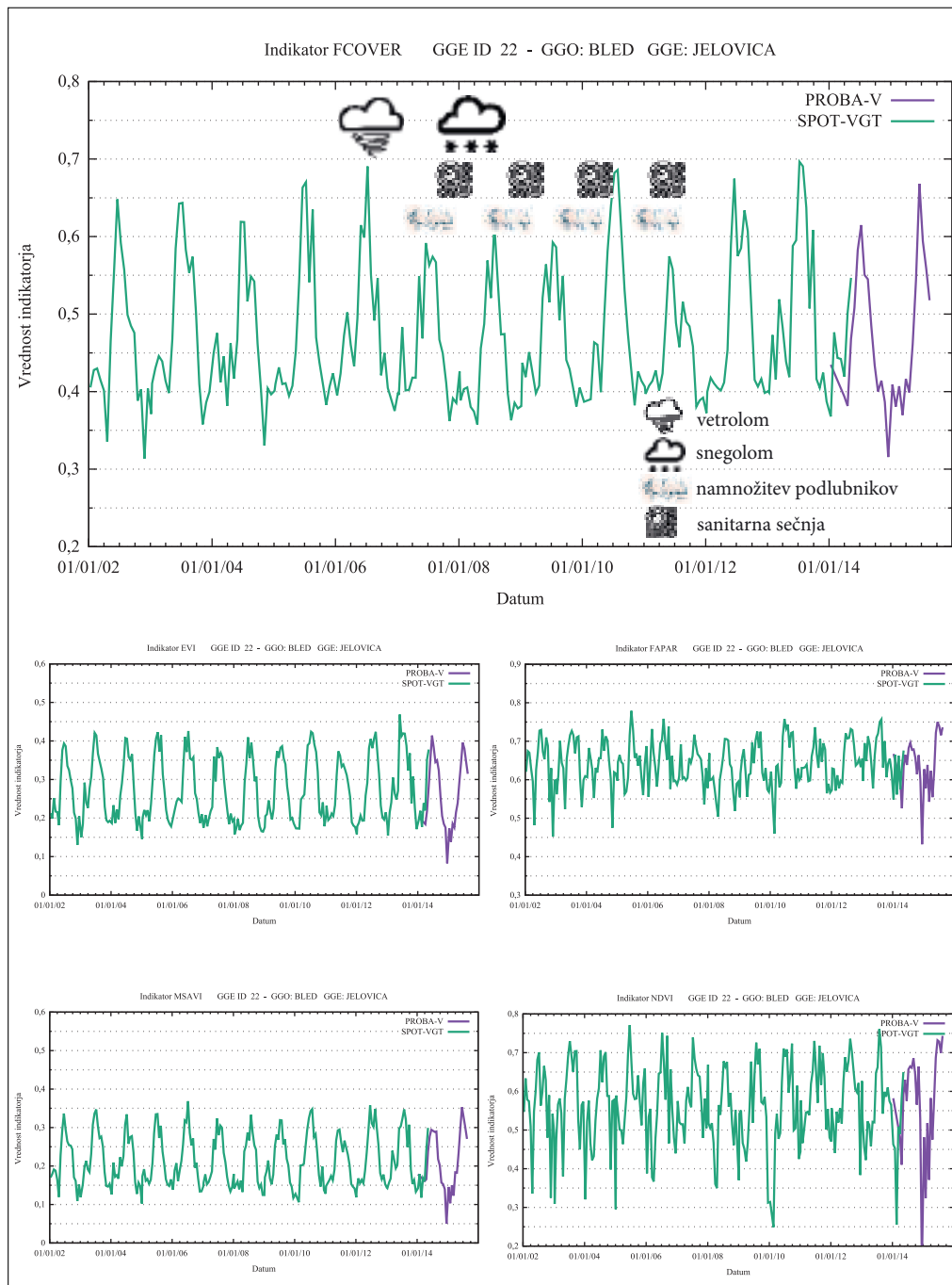
Nato smo izračunali več vegetacijskih in bio-fizikalnih indikatorjev. Med njimi je osem indeksov v različnih vlogah indikatorjev o stanju vegetacije: NDVI (*normalised difference vegetation index*), EVI (*Enhanced vegetation index*), AFRI (*aerosol free vegetation index*), ARVI (*atmospherically resistant vegetation index*), MSAVI (*modified soil adjusted vegetation index*), SAVI (*soil adjusted vegetation index*), NDSI (*normalised difference snow index*), NDWI (*normalised difference water index*) (Bannari s sodelavci 1995; Huete in Liu 1994). Z vključevanjem kompleksnejšega modeliranja in povezljivosti smo izračunali tri napredne bio-fizikalne indikatorje, vegetacijske produkte, to so: delež absorbiranega sevanja, pomembnega za fotosintezo (fAPAR), indeks listne površine (LAI) in delež pokritosti z vegetacijo (fCOVER).

### 3 Odkrivanje odklonskih stanj v gozdu

Za zaznavo, spremljanje, oceno ter kartiranje motenj v gozdovih se najpogosteje uporablja kombinacija daljinsko zaznanih podatkov in tehnik za njihovo obdelavo ter statističnih modelov (Kennedy s sodelavci 2010). Ker se spremembe v rastju odražajo prek sprememb v spektralnih podpisih oziroma odbojnosti, so za študije vegetacije zlasti pomembni spektralni kanali, ki so dovzetni za beleženje fotosintetske aktivnosti, to so predvsem rdeči, bližnjevalovni in srednjevalovni infrardeči spektralni kanali. Iz različnih kombinacij spektralnih kanalov pridobimo informacije o stopnji aktivnosti fotosinteze, stresa, vsebnosti vlage in drugih bio-fizikalnih ali strukturnih lastnostih rastlin, na podlagi katerih lahko interpretiramo, kje je prisotna vegetacija, opazujemo njeno stanje (zdravost, produktivnost, sušni stres), sledimo začetku, razvoju in zaključku rastne dobe, zasledujemo trend sprememb (faza olistanosti; motnje, poškodbe, obnova) ali ocenjujemo spremembe v strukturnih lastnostih sestojev (redčenje, goščanje, pojavljanje novih vrst in podobno).

Za preučevanje procesov na rastju moramo poznati tudi značilne (referenčne) poteke vegetacijskih indikatorjev v rastnem obdobju (rastna/razvojna krivulja) v normalnih meteoroloških razmerah ter opazovati njihove medletne reprezentacije (večletno povprečje reprezentativnega stanja). Na podlagi odklonov od značilnega, referenčnega stanja, nato sklepamo o stanju vegetacije, zamik v rastni dobi in zaznavamo motnje. Referenčni poteki indikatorjev za območja gozda po GGE so bili izračunani iz vseh zbranih podatkov (izzvzeta so leta 2003, 2006, 2012, 2013, ker so bila zelo sušna, ter 2014, ko je bila vegetacija močno prizadeta zaradi žleda) in agregirani na stanje vsakih 20 dni.

Za ponazoritev podajamo primer pretežno smrekovega gozda na Jelovici, ki ga pogosto prizadenejo ujme. Ena hujših je bil vetrolom, ki je 29. junija 2006 prizadel gozd v skupnem obsegu 125 ha, v januarju 2007 in 2008 sta gozd prizadela še krajevna snegoloma z razpršenimi poškodbami, septembra 2007 tudi vodna ujma, ki je na že prizadetih legah pospešila izpiranje prsti. Dogodki so povzročili poznejšo prenamnožitev podlubnikov ter zakrasedanje ogolelih površin, kar je pospešilo umetno obnovo gozdnih sestojev pozneje v letu 2008 (Papler-Lampe 2009). Naštete dogodke odslkavajo tudi poteki vegetacijskih indikatorjev fCOVER, EVI, fAPAR, MSAVI in NDVI za GGE Jelovica (slika 1). Vegetacijski indikatorji (20 dnevni kompoziti, 1 km prostorska ločljivost) so izračunani iz satelitskih podatkov SPOT-VGT (zelena krivulja) in PROBA-V (vijolična krivulja) za trinajstletno obdobje ter povprečeni za območje gozda znotraj GGE. V letih 2007, 2008 in 2009 je mogoče zaznati nižje vrednosti pri vseh indikatorjih. Odklon je skupni seštevek prizadetosti fotosintetske aktivnosti gozda zaradi prepleta več zaporednjih primarnih motenj (vetrolom, snegolom), sekundarnih motenj (namnožitev podlubnikov, ogolevanje površin) ter sočasnih sanitarnih gozdnogospodarskih ukrepov (sečnja, poznejše obnova gozdnih sestojev).



Slika 1: Medletne primerjave stanja gozda z različnimi vegetacijskimi indikatorji za GGE Jelovica v obdobju 2002–2015.



## 4 Zaznava motenj v gozdu in spremljanje stanja

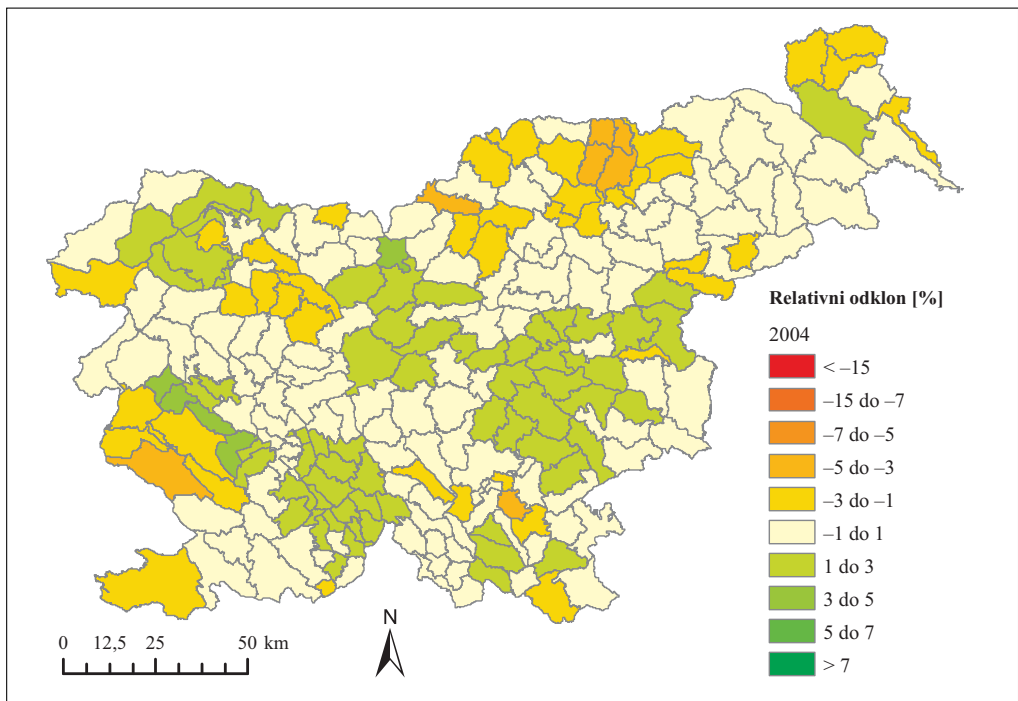
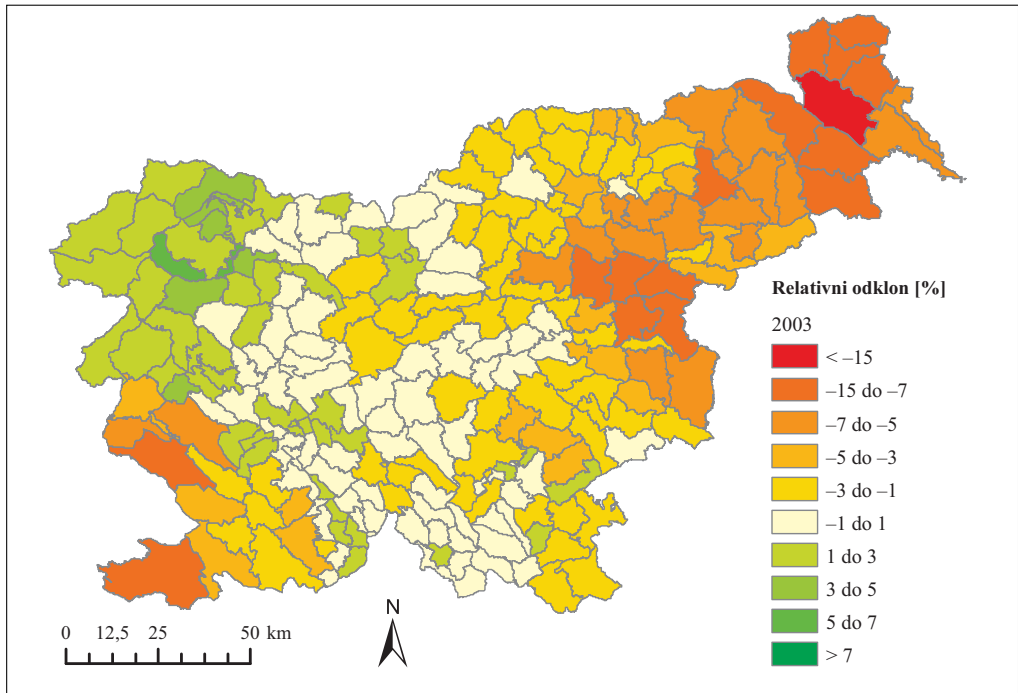
V tem poglavju predstavljamo, kako lahko s podatki daljinskega zaznavanja zaznavamo motnje in spremljamo stanje in procese v gozdovih. Namen je predvsem pokazati možnosti in zmogljivosti na eni strani ter nakazati omejitve in probleme na drugi strani.

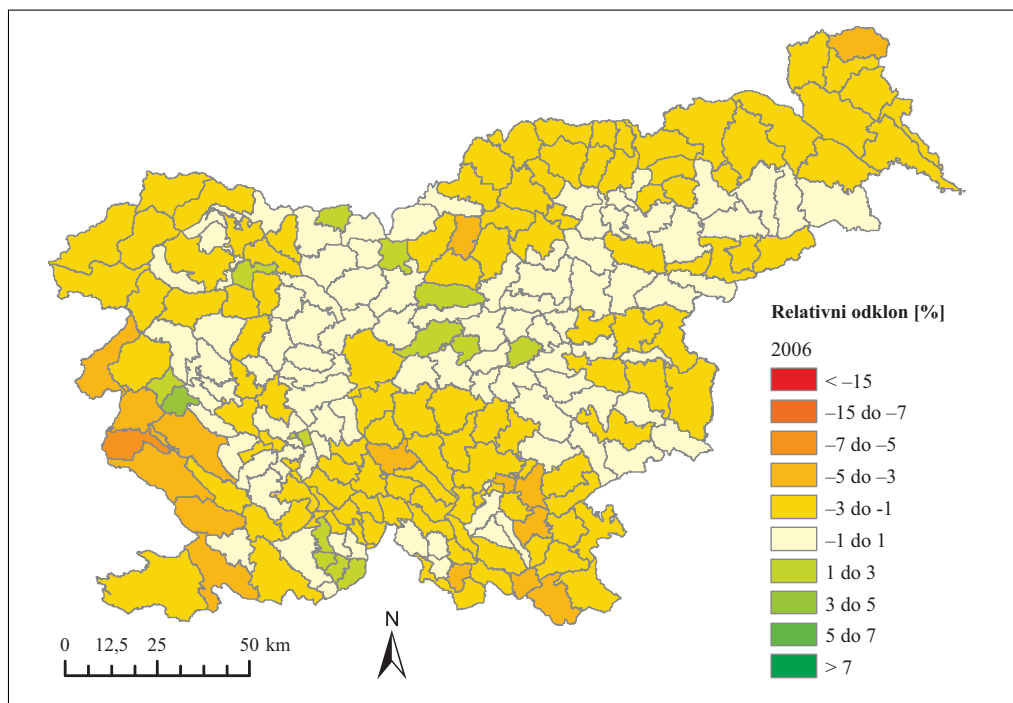
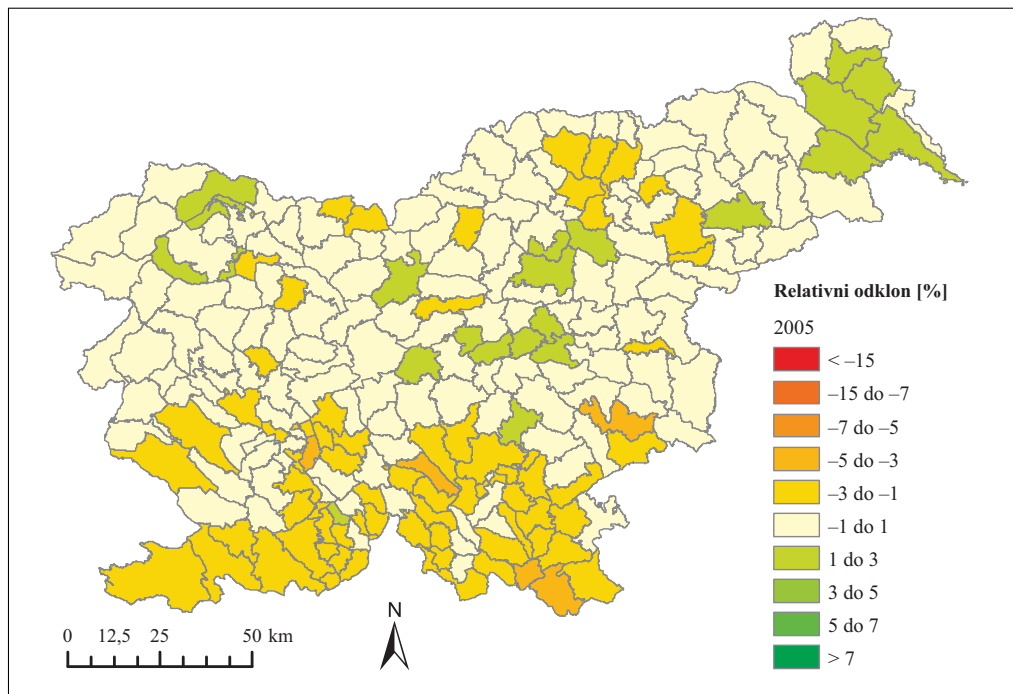
Prvi primer (slika 2) prikazuje rezultate medletne primerjave fAPAR v rastni dobi za posamezno GGE. Referenčno stanje je bilo določeno na podlagi let brez večjih motenj, za rastno dobo pa smo privzeli obdobje od 15. aprila do 15. oktobra. Odkloni povprečne vrednosti fAPAR v posameznem letu so določeni kot relativno odstopanje (v %) od referenčnega stanja. Prostorska razporeditev izrazitejših negativnih odklonskih stanj v gozdu za leta 2003, 2006, 2011, 2012 in 2013 v grobem kaže znižanje absorpcije sončevega sevanja na gozdni vegetaciji, kar je najverjetneje posledica večjih suš, za leto 2014 pa prostorski vzorec poškodovanosti gozda ustreza porazdelitvi žledoloma. Leta brez zabeležbe obsežnejše suše so 2002, 2005, 2008 in 2010. V letih 2008 in 2010 so odkloni fAPAR pretežno pozitivni, torej pričakovano z višjimi vrednostmi fotosintetske bilance zdrave vegetacije od dolgoletnega povprečja. Ostalih večjih odklonov, ki kažejo na zmanjšano fotosintetsko bilanco gozdov, na primer v letih 2002 in 2005, brez nadaljne študije ne moremo zanesljivo povezati z dogodki ali podatki. Domnevamo, da gre v posameznih primerih lahko za sekundarne motnje posledic številnih suš med letoma 2000 in 2015 (upadanje vitalnosti dreves kot je sušenje, prezgodnje odpadanje listov, drevesne bolezni in prenamnožitev škodljivcev) ali drugih motenj na za sušni stres občutljivih drevesnih vrstah ter posledičnih gozdnogospodarskih ukrepov (sečnja). Deloma je rezultat lahko posledica samih podatkov, skoposti uporabnih celic znotraj GGE za posamezna obdobja ter njihove priprave (nepopolno odstranjeni oblaki, preohlapen nadzor nad ustreznostjo uporabe celice). Na rezultate vpliva tudi izbira let za dolgoletno referenčno stanje. V nadaljni študiji velja rezultate proučiti še z vidika lastnosti gozdnih sestojev, saj je odziv pri različnih gozdnih združbah lahko različen.

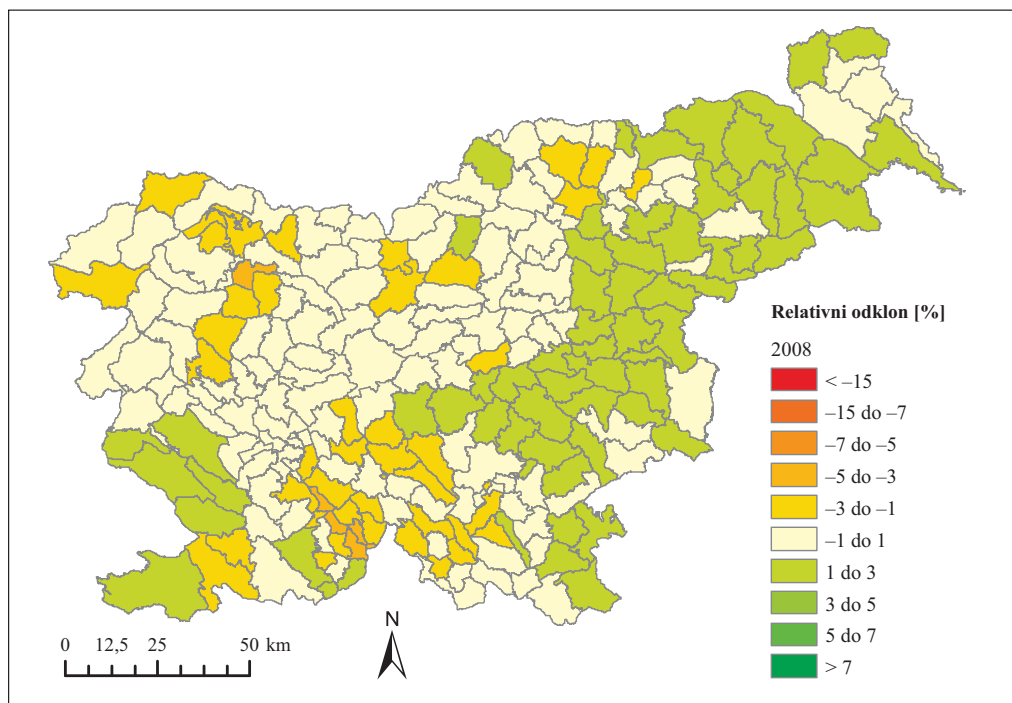
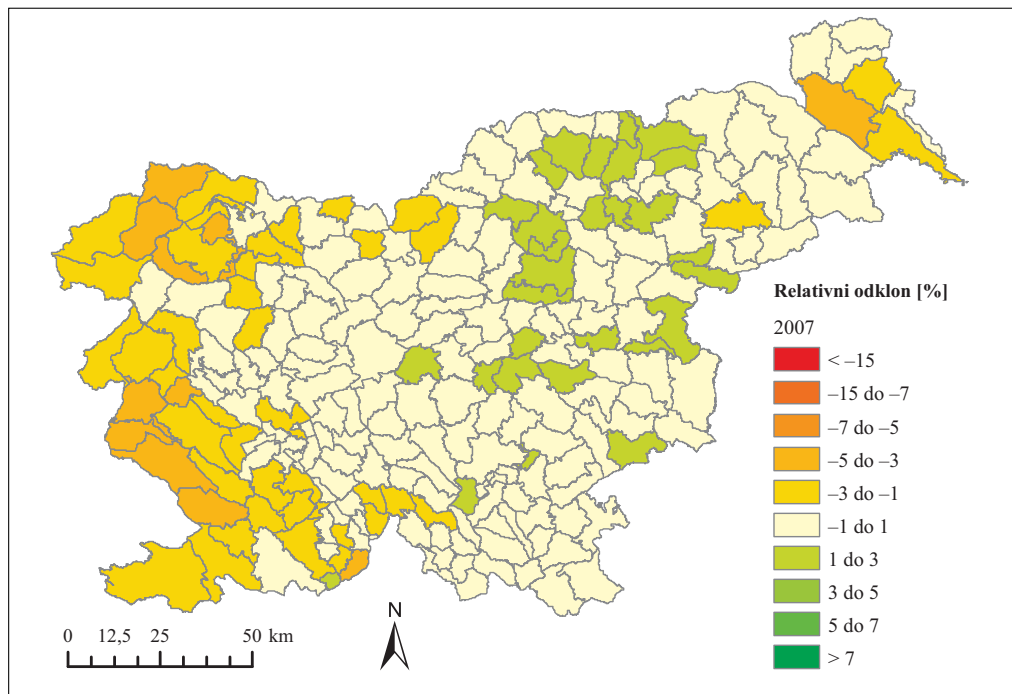
Drugi primer (slika 3) prikazuje značilen potek vegetacijskih indikatorjev poškodovanosti gozda zaradi požara, in sicer na primeru dveh največjih požarov: Sela na Krasu–Vojščica ter Šumka–Železna vrata–Trstelj (GGE Goriško in GGE Kras 1). Večdnevni požar Sela na Krasu se je razvil 29. 7. 2003, trajal 10 dni in opustošil okoli 960 ha pretežno listnatega gozda, požar Šumka pa 21. 7. 2006, trajal 7 dni in za seboj pustil pogorišče v obsegu 707 ha. Obe pogorišči se raztezata na meji med obema GGE, ker pa gre za izrazite spremembe na gozdu (iz gozda v pogorišče), je trend sprememb navkljub majhnemu obsegu pogorišč v primerjavi s celotnim obsegom gozda v GGE dobro zaznan na obeh primerih ter z večino vegetacijskih indikatorjev (EVI, MSAVI, SAVI, NDVI, fAPAR, fCOVER).

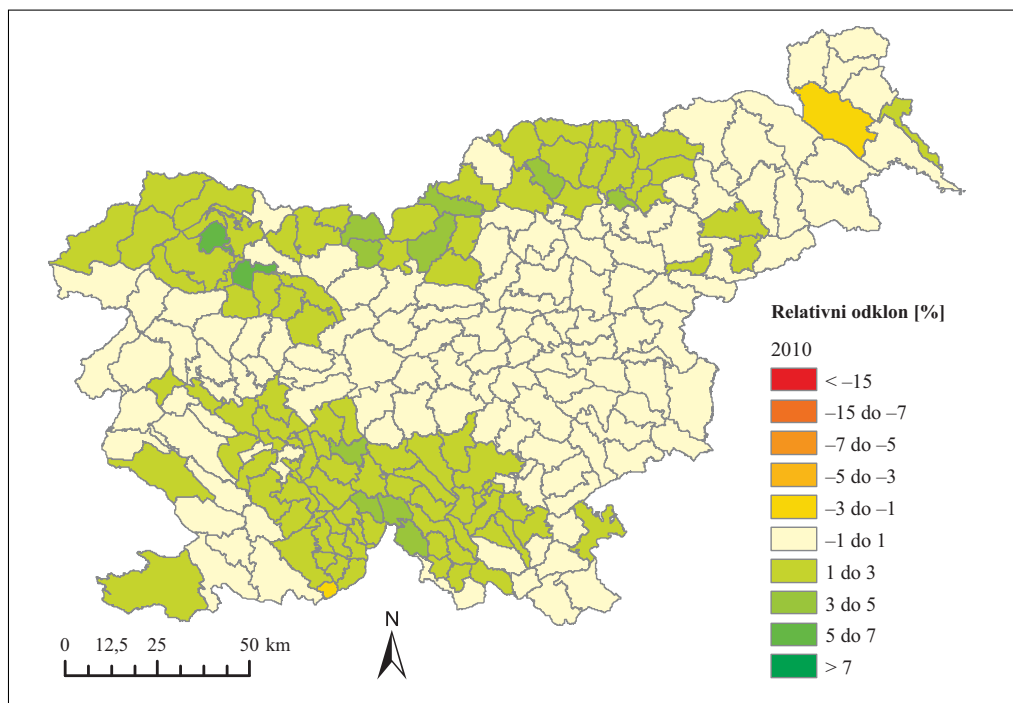
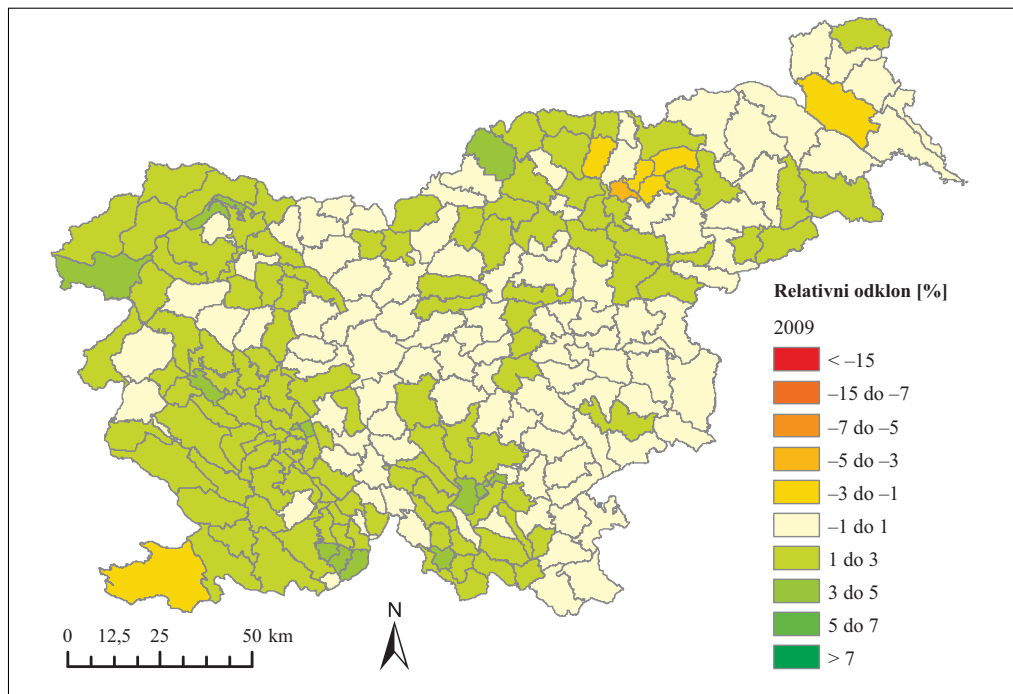
Tretji primer (slika 4) prikazuje zaznavanje prizadetosti gozda zaradi žledu, ki je konec januarja in v začetku februarja leta 2014 prizadel večji del Slovenije, po posameznih GGE z različnimi vegetacijskimi indikatorji, ki so pridobljeni iz časovne vrste podatkov SPOT-VGT in PROBA-V. V tem primeru nas je zanimala stopnja odziva indikatorjev na velikopovršinske poškodbe gozda in njihovo medsebojno ujemanje, dopolnjevanje oziroma razlikovanje. Na žarišče poškodovanosti v jugozahodnem delu države opozarjajo prav vsi opazovani indikatorji, razlikujejo pa se po občutljivosti ali intenzivnosti zaznave. Glede na prostorski vzorec razporeditve negativnih odklonov (ki jih povezujemo s poškodovanostjo gozda) še najbolj izstopata NDVI in NDWI, ki sta žarišču poškodovanosti pripisala šibkejšo odstopanje od dolgoletnih referenčnih vrednosti glede na ostale ter zaznala nekatere močnejše odklone drugod po državi (na primer GGE Kranjska gora). Najmočnejše (pri enotni skali relativnega odstopanja) sta se na spremembe v vegetaciji odzvala bio-fizikalna produkta fCOVER in LAI ter indeks MSAVI. Glede na nakazano pestrost pri odzivnosti med indikatorji, jih je pri analizi poškodb smiselno uporabiti večje število in s tem dopolniti informacijo, ki jo posreduje najpogosteje uporabljeni indeks NDVI.

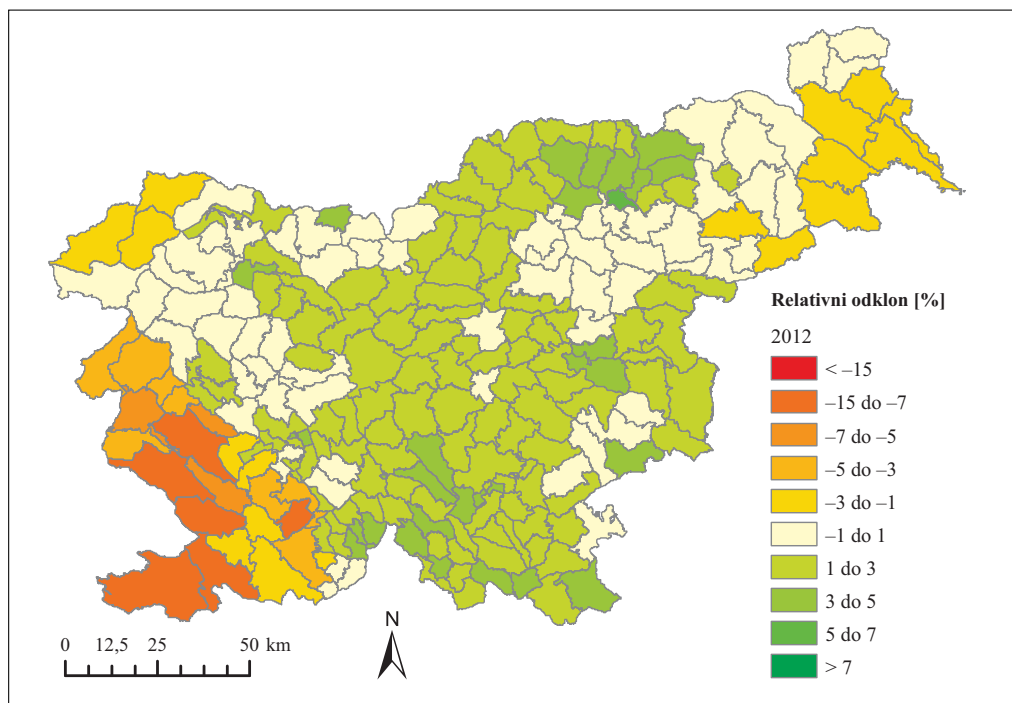
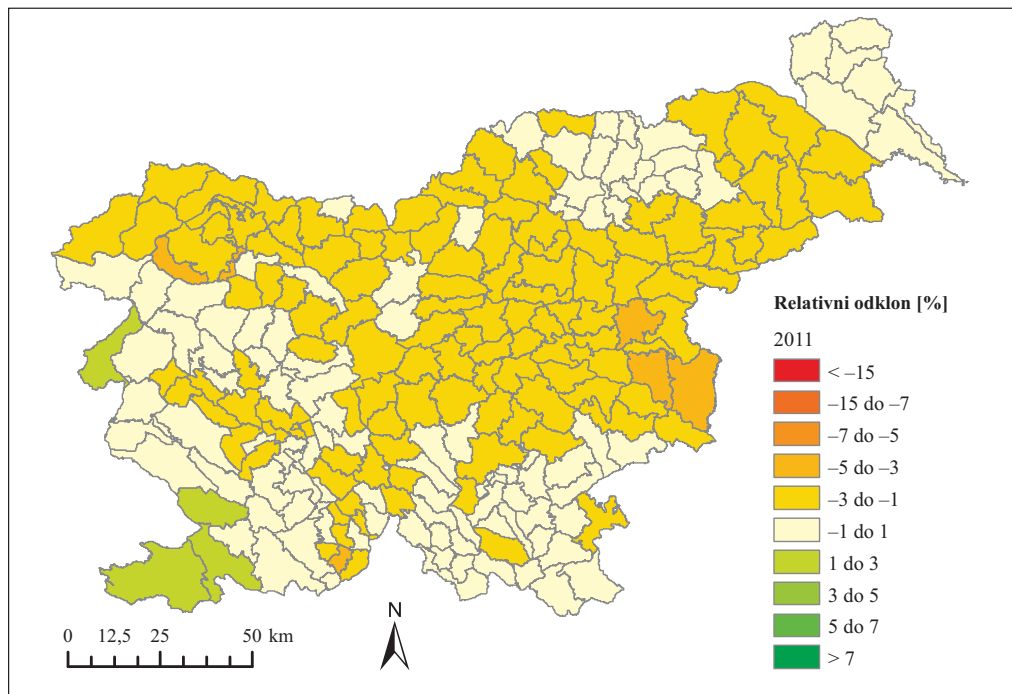
*Slika 2: Prikaz relativnih odstopanj (%) povprečnih vrednosti fAPAR od referenčnih vrednosti fAPAR v rastni dobi za posamezno GGE v obdobju 2003–2014. ► (str. 121–126)*

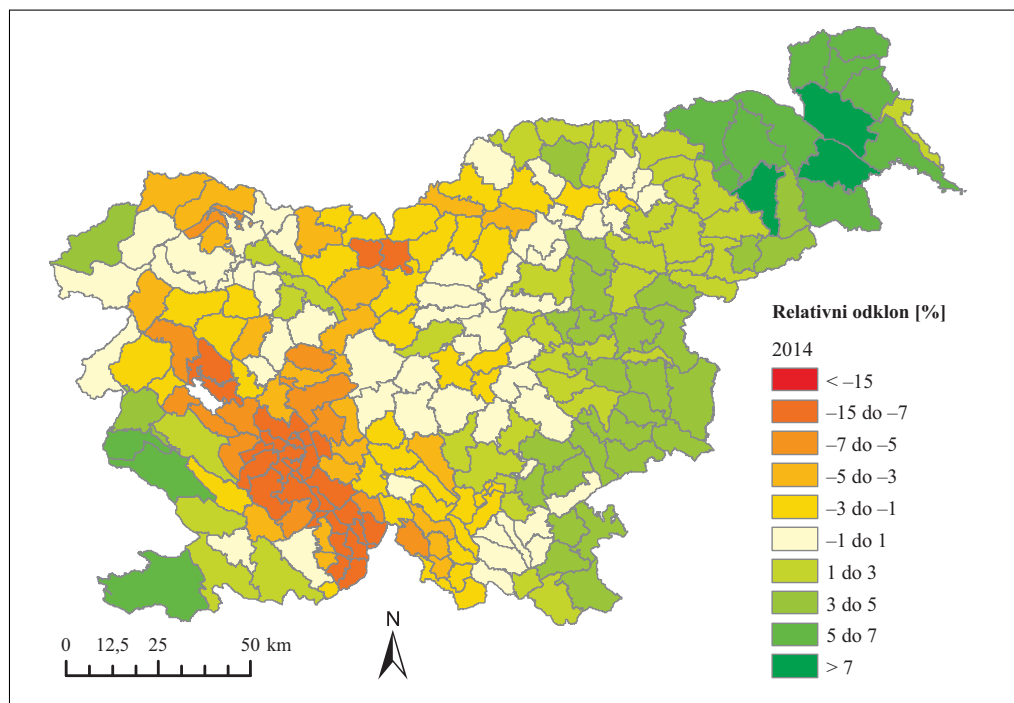
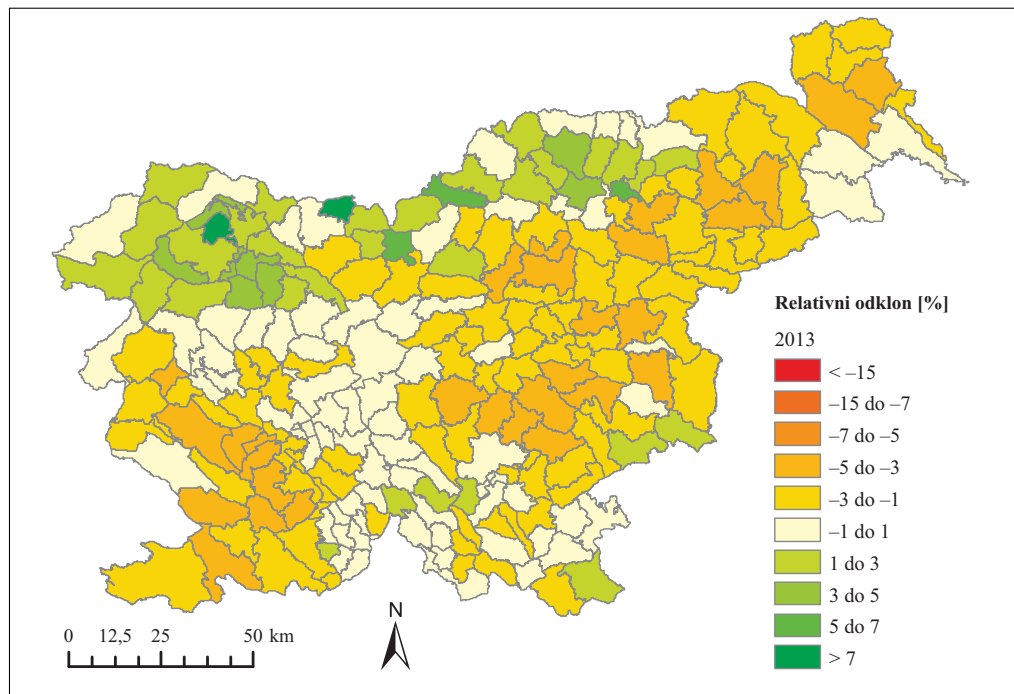


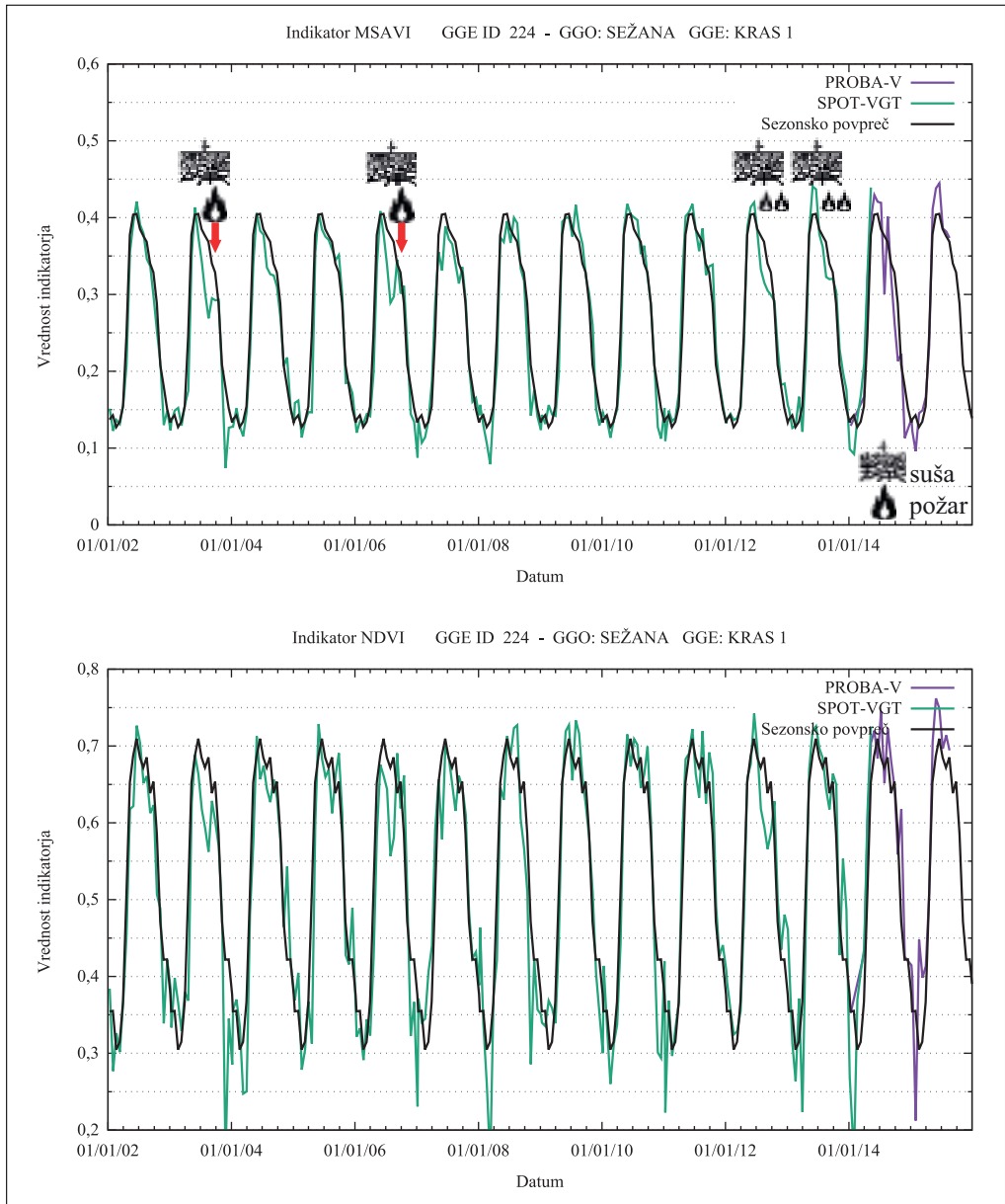








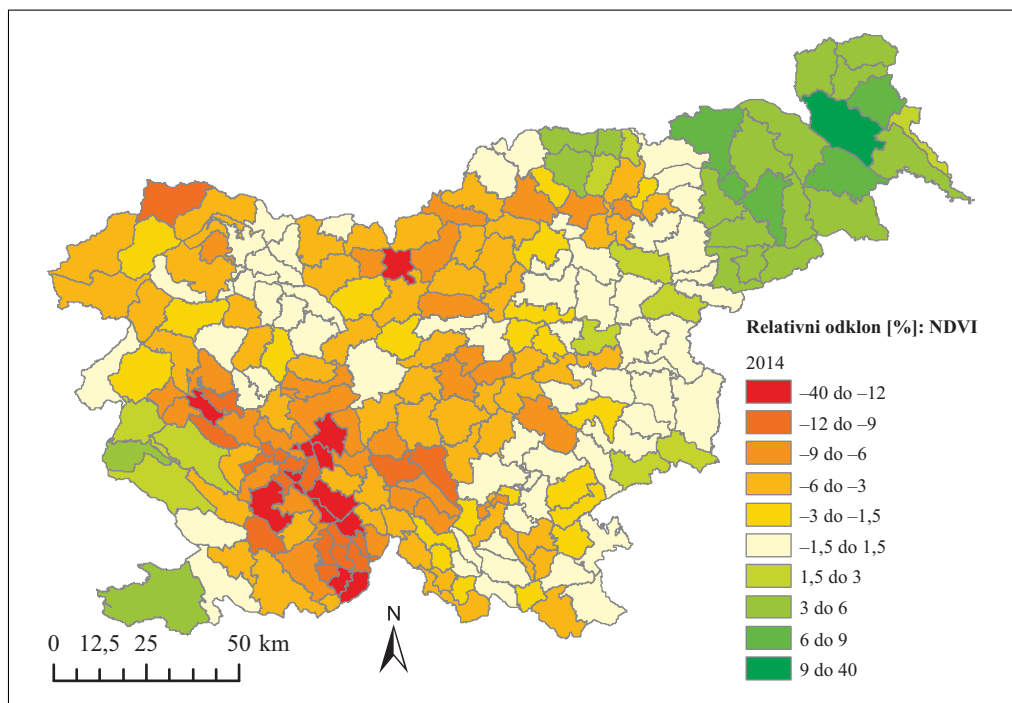
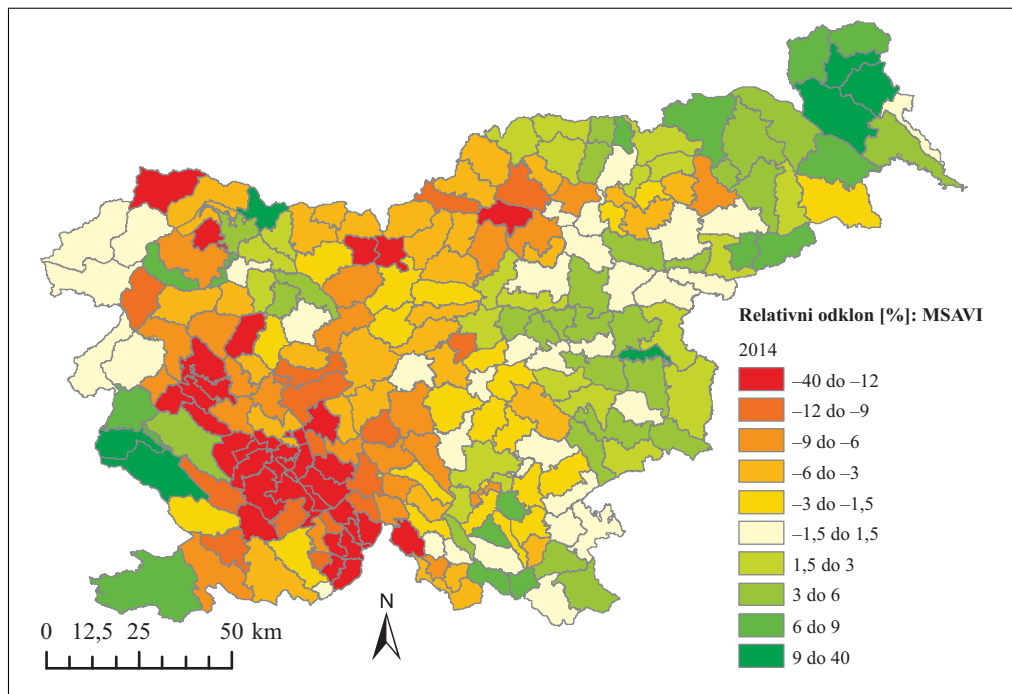


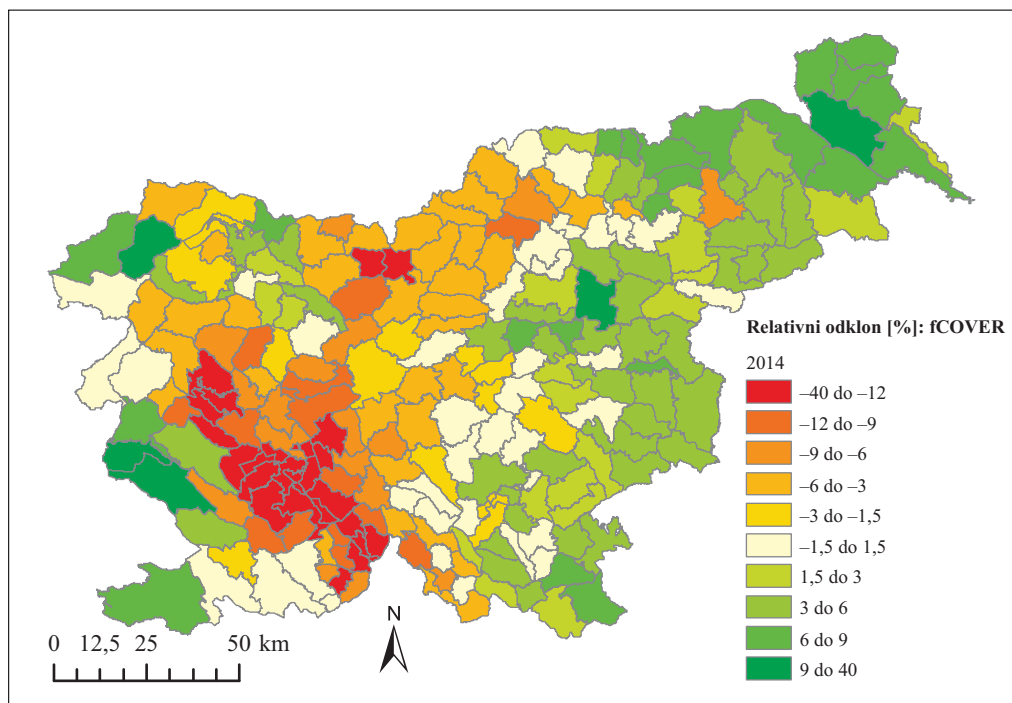
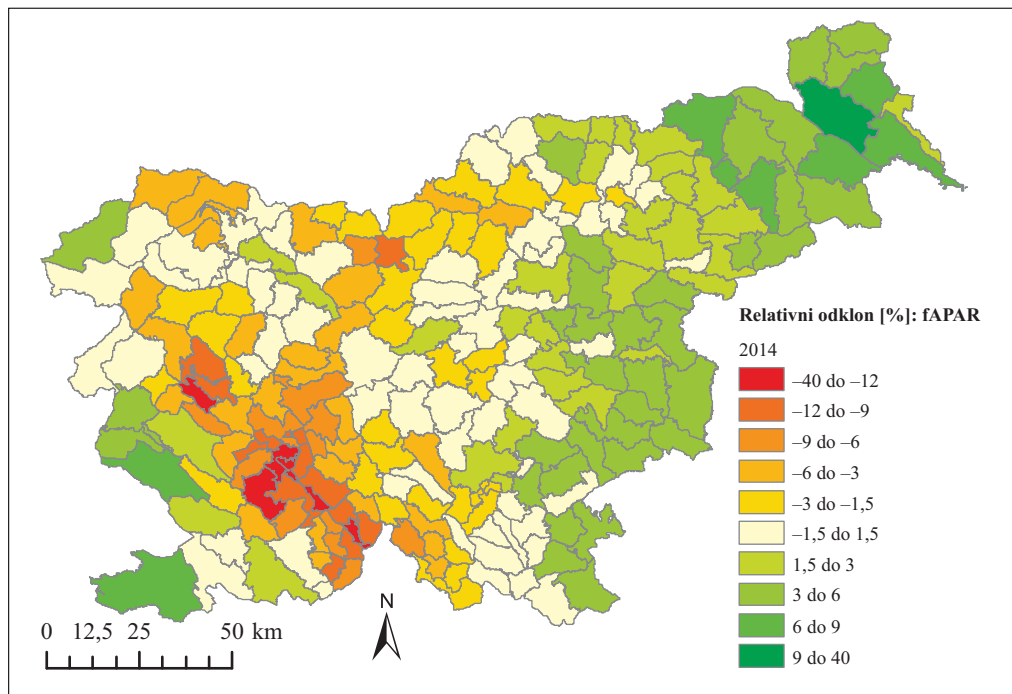


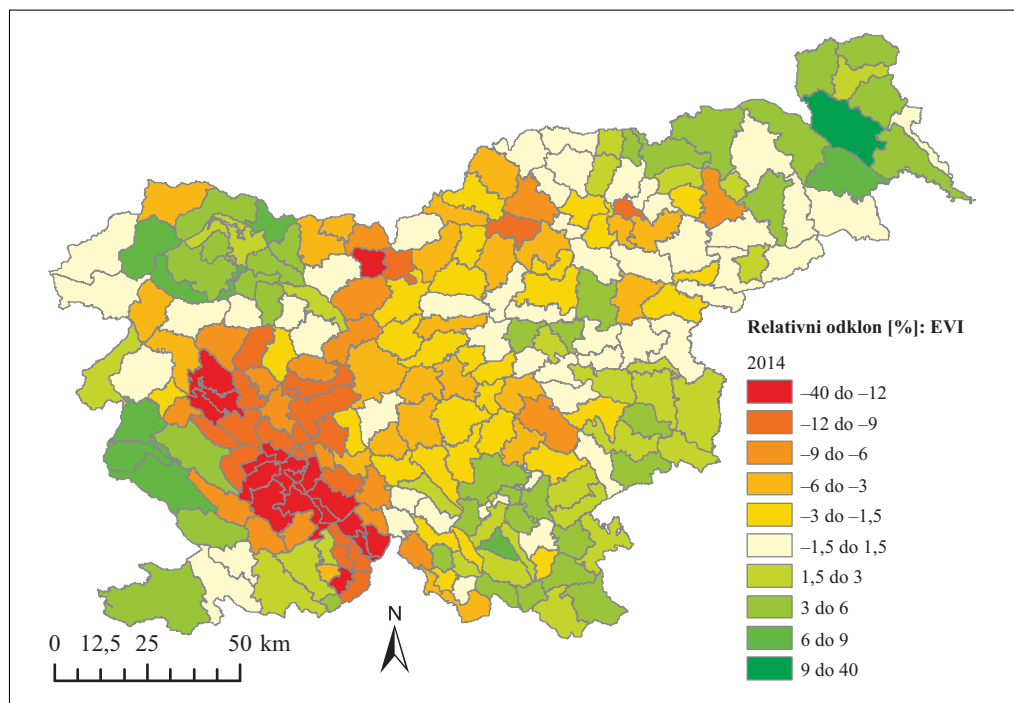
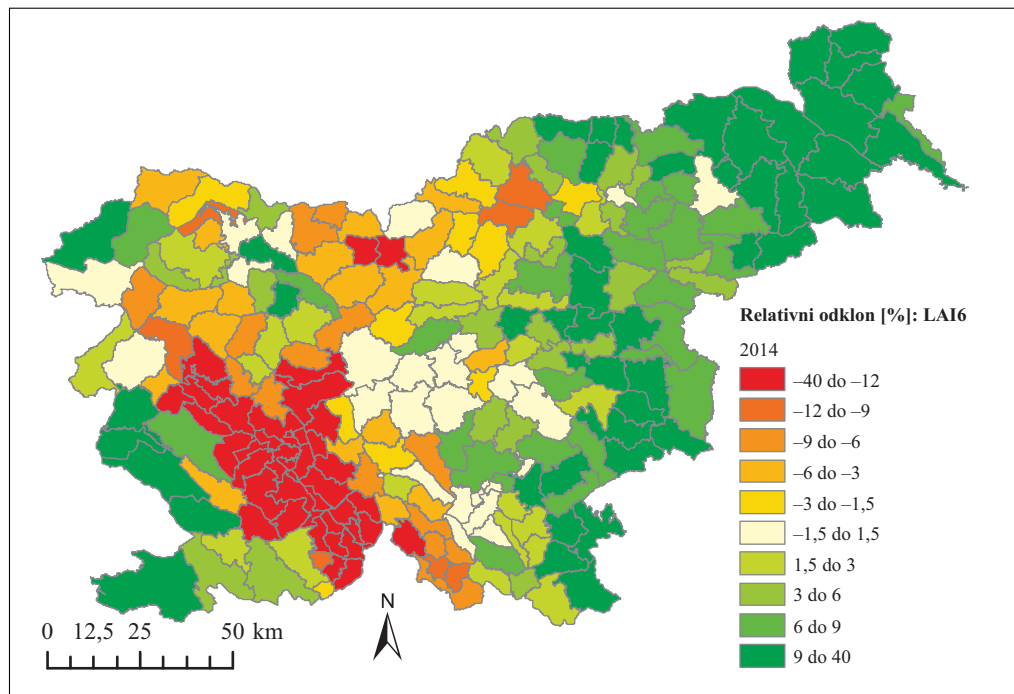
Slika 3: Prikaz tipične krivulje vegetacijskih indikatorjev MSAVI in NDVI zaradi posledic požara v gozdu. Značilno za pogorišča in pripadajoče stanje vegetacijskih indikatorjev je, da so od dogodka do konca rastle dobe vrednosti značilno nižje, spremeni se tudi značilni potek indikatorja v rastni dobi.

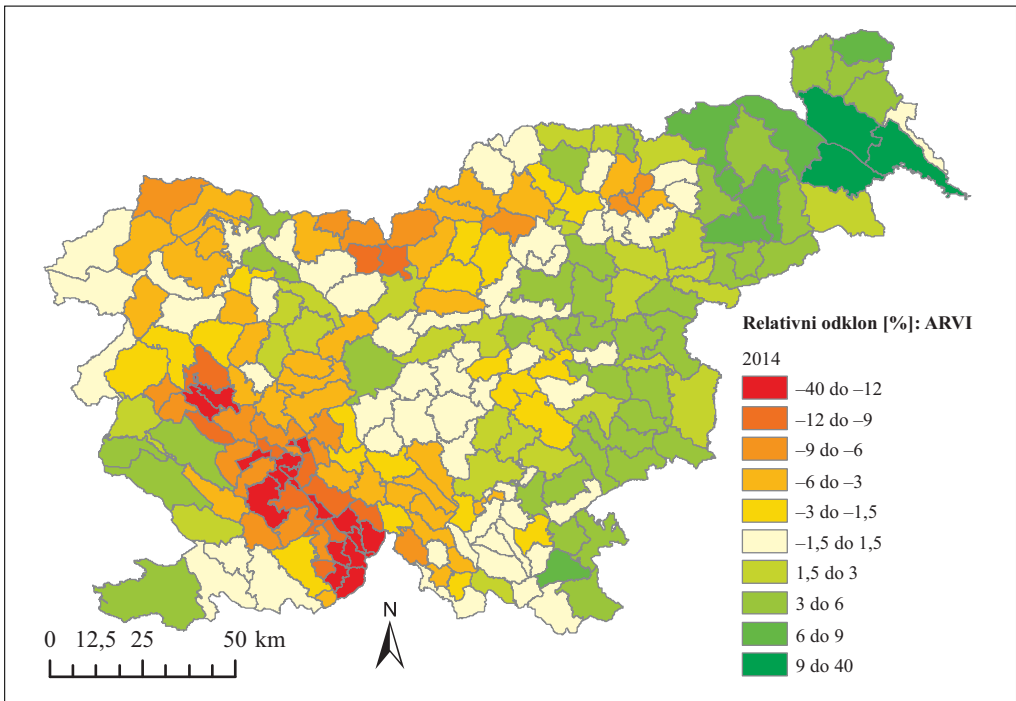
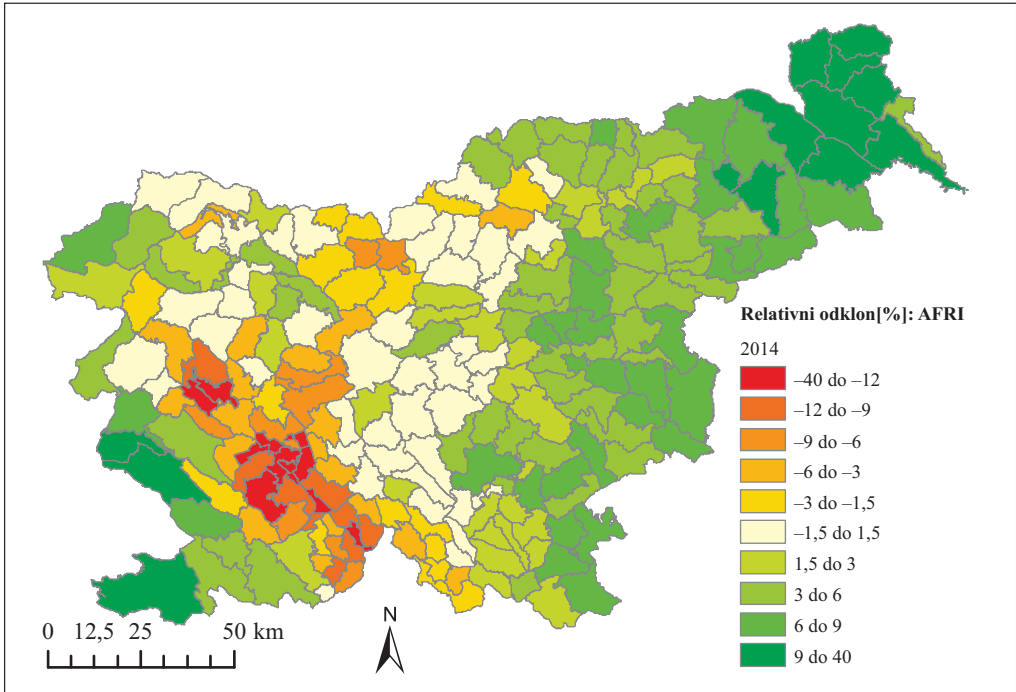
Slika 4: Prikaz prizadetosti gozda zaradi žledu v letu 2014 glede na odziv različnih vegetacijskih indikatorjev. Odklonske vrednosti so določene kot relativno odstopanje (%) posameznega vegetacijskega indikatorja od njegovih referenčnih vrednosti v opazovani GGE. ► (str. 128–132)

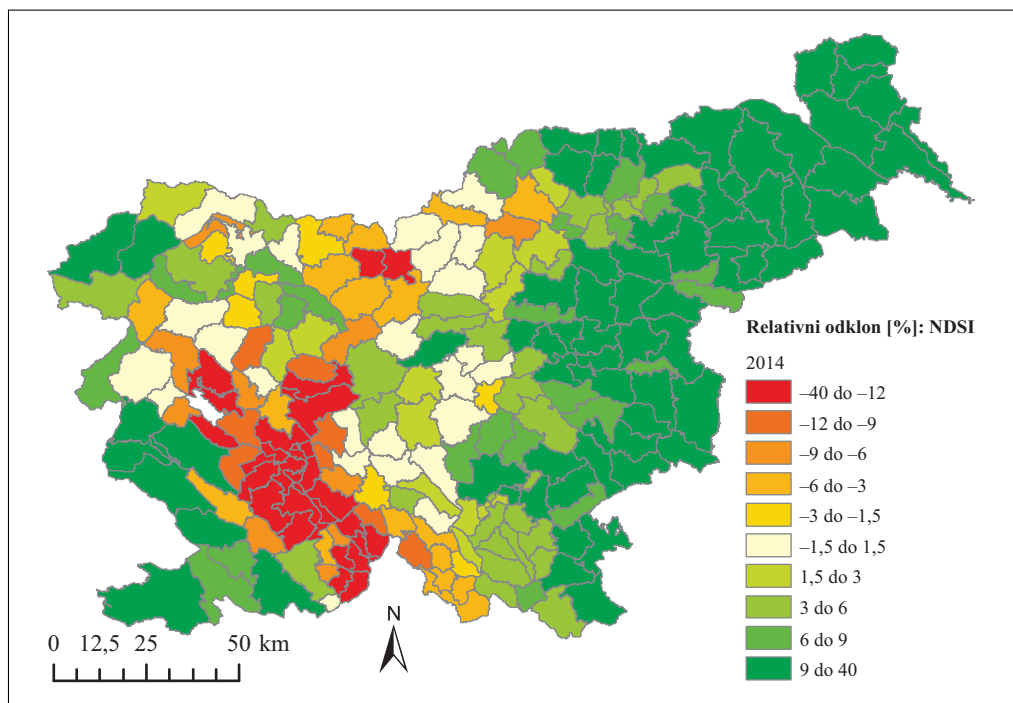
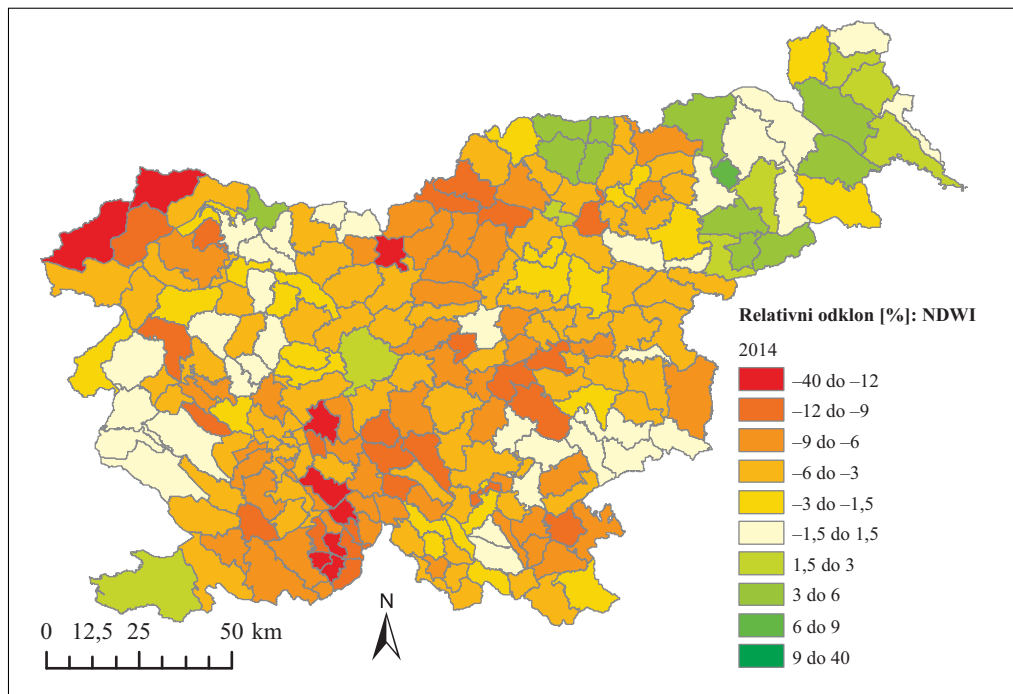












## 5 Sklep

V študiji smo opazovali izbrane motnje v slovenskih gozdovih. Pokazali smo, da navkljub razmeroma nizki prostorski, a visoki časovni ločljivosti z različnimi vegetacijskimi indikatorji lahko zaznamo motnje različnih virov, ki imajo za posledico upad »zelenosti« oziroma fotosintetske dejavnosti. Ugotavljamo, da so za zaznavo intenzivneje izraženih motenj, kjer pride tudi do poškodb v gozdnem sestoju (požari, žledolomi, vetrolomi), primerni tudi satelitski posnetki SPOT-VGT nizke prostorske ločljivosti (1 km) ter analiza odklonov. Medtem, ko je zmožnost zgodnjega zaznavanja subtilnejših motenj (kot je na primer prenamnožitev podlubnikov) slabša in nezanesljiva. Pri opazovanju posledic oziroma učinkov motenj v gozdu je največja težava ta, da pogosto prihaja do prepleta procesov. V gozdu se lahko že izvajajo reševalna ali sanacijska gozdarska dela in zato ne spremljamo več zgolj neposrednih vplivov motnje na razvoj gozdne dinamike. Predvsem pri opazovanju subtilnejših procesov je zato pomembno, da natančno poznamo vrstni red dogodkov in izvajanje del v gozdu ter da izberemo ustrezne vegetacijske ali bio-fizikalne indikatorje. Smiselno je, da jih proučujemo komplementarno glede na značilnosti motnje in aktivnosti, njihovih učinkov v gozdu ter reprezentacije v vrednostih zaznane odbojnosti. Velik problem za relevantno (statistično značilno) zaznavo motenj je tudi razmerje med površino prizadetega gozda ter celotnega gozda znotraj GGE. Kadar gre za motnje v manjšem obsegu (krajevni požari, vetrolomi) ali manjši in progresivni stopnji spremembe gozdnih sestojev (drevesne bolezni), je smiselno v časovni vrsti opazovati le ožje prizadeto območje.

## 6 Viri in literatura

- Bannari, A., Morin, D., Bonn, F., Huete, A. R. 1995: A review of vegetation indices. *Remote sensing reviews* 13, 1-2. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/02757259509532298>
- Dees, M. 2014: Can the challenges for operational satellite based storm damage mapping in forests be met? An analysis of Rapid Eye based mapping of a medium scale storm damage event in forests in North-West Poland. *ForestSAT2014 Open Conference System*.
- Deronde, B., Debruyne, W., Gontier, E., Goor, E., Jacobs, T., Verbeiren, S., Vereecken, J. 2014: 15 years of processing and dissemination of SPOT-VEGETATION products. *International Journal of Remote Sensing* 35-7. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2014.883102>
- Dierckx, W., Sterckx, S., Benhadj, I., Livens, S., Duhoux, G., Van Achteren, T., Francois, M., Mellab K., Saint, G. 2014: PROBA-V mission for global vegetation monitoring: standard products and image quality, *International Journal of Remote Sensing* 35-7. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2014.883097>
- Huete, A. R., Liu, H. Q. 1994: An error and sensitivity analysis of the atmospheric-and soil-correcting variants of the NDVI for the MODIS-EOS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 32-4. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/36.298018>
- Kennedy, R. E., Yang, Z., Cohen, W. B. 2010: Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr – Temporal segmentation algorithms. *Remote Sensing of Environment* 114-12. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2010.07.008>
- Marinšek, A., Celarc, B., Grah, A., Kokalj, Ž., Nagel, T. A., Ogris, N., Oštir, K., Planinšek, Š., Rožembergar, D., Veljanovski, T., Vochl, S., Železnik, P., Kobler, A. 2015: Žledolom in njegove posledice na razvoj gozdov – pregled dosedanjih znanj. *Gozdarski vestnik* 73-9.
- Medmrežje 1: <http://www.vito-eodata.be/PDF/portal/Application.html> (9. 2. 2016).
- Meroni, M., Fasbender, D., Balaghi, R., Dali, M., Haffani, M., Haythem, I., Ben Moussa, M. 2016: Evaluating NDVI Data Continuity Between SPOT-VEGETATION and PROBA-V Missions for Operational Yield Forecasting in North African Countries. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 54-2. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/tgrs.2015.2466438>

- Oštir, K., Čotar, K., Marsetič, A., Pehani, P., Perše, M., Zakšek, K., Zaletelj, J., Rodič, T. 2015: Automatic Near-Real-Time Image Processing Chain for Very High Resolution Optical Satellite Data. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 40-7. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-669-2015>.
- Papler-Lampe, V. 2009: Presoja ukrepov pri sanacijah ujm 2006–2008. *Gozdarski vestnik* 67, 5-6.
- RABA MKGP, 2008. Evidenca dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč, stanje 2008.
- Richter, R., Schläpfer, D. 2014: ATCOR-2/3 user guide, version 8.3.1.
- Schardt, M., Hausler, T., Henneweg, H., Sagischewski, H. 1996: Large area operational experiment for forest damage monitoring in Europe using satellite remote sensing – Results of the technical working group. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 31, Part B4.
- Xie, Y., Sha, Z., Yu, M. 2008: Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. *Journal of Plant Ecology* 1-1. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/jpe/rtm005>

# MODELIRANJE RAZŠIRJENOSTI GOZDNEGA KLOPA (IXODES RICINUS) NA OBMOČJU UPRAVNE ENOTE RUŠE

**Boštjan Kop**

*bostjan.kop@gmail.com*

**dr. Blaž Repe**

*Oddelek za geografijo, Filozofska Fakulteta, Univerza v Ljubljani*

*blaz.repe@ff.uni-lj.si*

**dr. Tomi Trilar**

*Prirodoslovni muzej Slovenije*

*ttrilar@pms-lj.si*

UDK: 91:591.9:004.9(497.412)

## IZVLEČEK

### **Modeliranje razširjenosti gozdnega klopa (*Ixodes ricinus*) na območju Upravne enote Ruše**

*V prispevku smo predstavili postopek modeliranja razširjenosti gozdnega klopa s pomočjo geografskih informacijskih sistemov. Modeliranje smo izvedli s postopkom večkriterijskega vrednotenja z uporabo metode obtežene linearne kombinacije na podlagi treh dejavnikov: vegetacijskega pokrova, nadmorske višine ter gostote srnjadi in jelenjadi. Natančnost modela smo preverili s terenskim vzorčenjem na 10 testnih površinah. Rezultat modela smo predstavili kot zemljevid primernosti za pojavljanje gozdnega klopa na območju Upravne enote Ruše.*

## KLJUČNE BESEDE:

*gozdni klop, modeliranje, večkriterijsko vrednotenje, GIS, Ruše*

## ABSTRACT

### **GIS Modelling of *Ixodes ricinus* tick Distribution in the Ruše Administrative Unit Area**

*The article describes GIS modelling procedure of *Ixodes ricinus* tick distribution using the procedure of Multi-Criteria Evaluation, in which we used Weighted Linear Combination method. The suitability for the occurrence of the tick, as a distribution indicator, was defined on the basis of three factors: vegetation cover, elevation and deer density. The distribution of the tick model was being introduced as a map of suitability for the occurrence of the tick in the Ruše Administrative unit area. The predictive power of the model was being tested on 10 test surfaces, using field-collected data on tick activity.*

## KEY WORDS:

*tick, *Ixodes ricinus*, modelling, multi-criteria evaluation, GIS, Ruše*



## 1 Uvod

Klopi so močno povezani z določenimi abiotskimi (temperatura, vlažnost zraka) in biotskimi (prisotnost gostiteljev) dejavniki v ekosistemu, ki vplivajo na njihovo razširjenost. Če poznamo parametre in dejavnike, ki vplivajo na razširjenost klopov, lahko s pomočjo geografskih informacijskih sistemov, ustreznih metod in ustreznih prostorskih podatkov uspešno modeliramo ali napovedujemo njihovo razširjenost (Daniel, Kolar in Zeman 2004).

V Sloveniji živi 16 vrst klopov, med katerimi je najbolj razširjen gozdni klop (*Ixodes ricinus*). Naseljuje vse primerne niše do nadmorske višine 1000 m (Duh 2002; Trilar 2004).

Gozdnega klopa v naravi najpogosteje najdemo v prizemeljskih plasteh na pašnikih in travnikih, še posebej v obdobjih med košnjami. Razširjeni so v mešanih, senčnih gozdovih z različnimi drevesnimi vrstami z gosto podrastjo, grmičevjem, debelim slojem listja in visoko travo. Pogosti so na robovih jas, kjer se strjen gozd konča in prehaja v travniško rastje, ob živalskih in človeških stezah in na zaraščenih, slabo kultiviranih površinah. Na teh območjih je srečanje z gostitelji najbolj verjetno. Glavne gostitelje za ličinke predstavljajo majhni sesalci in ptiči ter nekateri plazilci, za odrasle osebe pa srnjad in jelenjad ter ostali mesojedci. Človek predstavlja le naključnega gostitelja (Sonenshine 2005, cv: Durmiši 2006; Močnik 2007).

Namen prispevka je modeliranje primernosti za pojavljanje gozdnega klopa, kot pokazatelja njegove razširjenosti, na območju Upravne enote na podlagi treh dejavnikov: vegetacijskega pokrova, nadmorske višine ter gostote srnjadi in jelenjadi.

## 2 Obravnavano območje

Upravna enota Ruše obsega 209 km<sup>2</sup> in ima 14.800 prebivalcev (Prebivalstvo po velikih ... 2015). Zajema občine Ruše, Selnica ob Dravi in Lovrenc na Pohorju. Skupaj na njenem območju leži 27 naselij, med katerimi so največja Ruše, Selnica ob Dravi in Lovrenc na Pohorju.

Območje zajema osrednji del ter severna pobočja Pohorja, južna pobočja osrednjega Kozjaka (imevanega tudi Kobansko) ter del Dravske doline med naseljema Ožbalt na zahodu ter Spodnji Slemen na vzhodu. Skupna značilnost ozemlja je hribovito površje, razčlenjeno s številnimi dolinami, slemeni in z grapami, kar je odraz razvoja gostega rečnega omrežja v preteklosti. Na območju Kozjaka nadmorske višine sežejo do 985 m (Kolarjev vrh), na območju Pohorja pa do 1521 m (Lovrenška jezera). Raven del je ob planotastem vrhu Pohorja omejen na nasute dele dolin, predvsem Dravsko dolino med naseljem Fala in vzhodno mejo območja (Perko in Orožen Adamič 2001; Gams 2008; Kop 2016).

Daleč največji delež površine območja (80 %) pokriva gozd. Prevladujoči tip je mešani gozd, ki mu sledi iglasti. Desetino območja pokrivajo travniške površine (Grafični podatki RABA 2015), ki so omejene na ravninske dele in območja samotnih kmetij na prisojnih pobočjih Kozjaka in Pohorja.

## 3 Metodologija

Za določitev primernih območij za pojavljanje gozdnega klopa smo uporabili postopek večkriterijskega vrednotenja (angl. *Multi-Criteria Evaluation*), v okviru katerega smo uporabili metodo obtežene linearne kombinacije (angl. *Weighted Linear Combination*). Večkriterijsko vrednotenje je postopek, pri katerem za doseg cilja ovrednotimo več različnih kriterijev. Kriteriji predstavljajo podlage za odločanje, ki jih lahko izmerimo in ovrednotimo. To so različni dejavniki in omejitve, na podlagi katerih določimo bolj ali manj primerna območja za izbrani cilj (Eastman 2012). Najprimernejša območja za pojavljanje gozdnega klopa smo določili na podlagi vegetacijskega pokrova, nadmorske višine in gostote srnjadi ter jelenjadi.

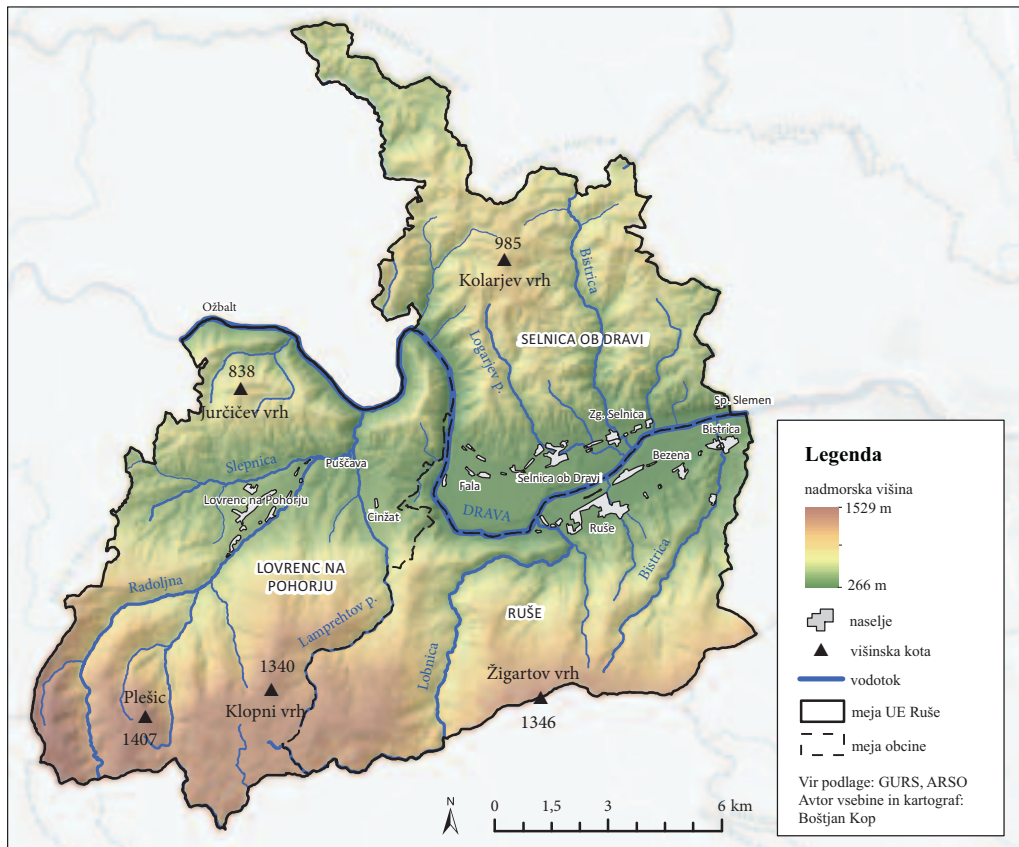
Pogoj za izvedbo postopka so podatkovni sloji v rastrski obliki z enako prostorsko ločljivostjo, standardizirani na primerljivo mersko lestvico. Za ta namen smo podatkovne sloje pretvorili v rastrsko obliko z velikostjo celice 5 krat 5 m in jih standardizirali na mersko lestvico od 0 do 255. Ločljivost smo izbrali na podlagi ločljivosti podatkov o nadmorskih višinah oziroma ločljivosti digitalnega modela višin. Za pripravo podatkov, modeliranje in kartografski prikaz smo uporabili programska paketa ArcGIS 10.3 s pripadajočimi orodji (ArcToolbox) in Clark Labs Idrisi Selva.

### 3.1 Uporabljeni podatki

Ustrezen **vegetacijski pokrov** občutno poveča možnost za pojavljanje in aktivnost gozdnega klopa na določenem območju. Povezava med višjim pojavljanjem klopa in ustreznimi habitati je bila preverjena v več študijah (Daniel, Kolar in Zeman 2004; Eisen, Eisen in Lane 2006; Daniel s sodelavci 2006; Höhnig s sodelavci 2011).

Vegetacijski pokrov na obravnavanem območju smo določili s kombinacijo vektorskih podatkov evidence dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč (Grafični podatki RABA ... 2015) in podatkov o deležu listavcev in iglavcev na ravni gozdnih odsekov (Podatki o deležu ... 2015).

Gozdnim površinam v podatkih evidence dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč pripada le ena kategorija. Posamezni tipi gozda se razlikujejo po primernosti za pojavljanje gozdnega klopa, zato



Slika 1: Zemljevid obravnavanega območja.

smo kategorijo »gozd« razčlenili na tri kategorije: »listnati gozd«, »mešani gozd« in »iglasti gozd«. Členitev smo opravili na podlagi podatkov Zavoda za gozdove Slovenije o razmerju med listavci in iglavci na ravni gozdnih odsekov (Podatki o deležu ... 2015). Gozdne odseke, na katerih je več kot 75 % dreves listavcev, smo določili kot območja listnatega gozda; odseke, na katerih je več kot 75 % dreves iglavcev pa kot območja iglastega gozda. Območja ostalih gozdnih odsekov smo določili kot območja mešanega gozda. Mejne vrednosti deležev smo povzeli iz priloge Pravilnika o vsebini in načinu vodenja zbirke podatkov o dejanski rabi prostora iz Uradnega lista RS (Opisi vrst posameznih ... 2004).

Posamezne tipe gozda smo vključili v sloj dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč. Prej enotni kategoriji »gozd« so po tem postopku pripadle tri kategorije: listnati, mešani in iglasti gozd.

Posebno kategorijo vegetacijskega pokrova smo določili mejnim območjem med gozdnimi in zelenimi površinami, ekotonom. Ekoton je območje na meji med dvema ali več ekosistemi, pogosto poraščeno z bujno vegetacijo, ki predstavlja stabilnejši vir hrane za večje sesalce, obenem pa nudi dobro zatočišče manjšim. Ker so oboji pomemben gostitelj klopov, so območja ekotonov oziroma mejna območja med gozdnimi in travniškimi ekosistemi najprimernejša območja za pojavljanje gozdnega klopa (Daniel, Kolar in Zeman 2004; Hönig s sodelavci 2006).

Območja ekotonov smo določili iz vektorskih podatkov evidence dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč. Določili smo mejno območje med gozdnimi in zelenimi površinami, široko 30 m. Za ta namen so bile v območje zelenih površin združene kategorije »nasadi«, »njive in vrtovi«, »travniške površine« ter »zemljišča v zaraščanju«. Avtomatiziranemu postopku določanja ekotonov je sledilo ročno preverjanje in izločanje neprimernih ekotonov. Ročno preverjene ekotone smo vključili v sloj dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč, kjer smo jim določili posebno kategorijo vegetacijskega pokrova.

Po končani obdelavi podatkov smo razpolagali z 9 kategorijami vegetacijskega pokrova. Vsaki izmed njih smo določili primernost za pojavljanje gozdnega klopa na podlagi literature (Hönig s sodelavci 2011) in ekspertnega mnenja (Trilar 2015). Primernost smo določili po merski lestvici od 0 (neprimerno) do 12 (najbolj primerno) ter reklasificirali oziroma standardizirali na vrednosti od 0 in 255 po metodi direktnega sklepanja.

Vegetacijski pokrov je v modelu predstavljal tudi omejitveni dejavnik. Za pojavljanje gozdnega klopa so neprimerne vse vodne in druge površine brez vegetacijskega pokrova ali z neprimernim vegetacijskim pokrovom, zato smo ustreznim kategorijam dejanske rabe tal v okviru Boolove standardizacije pripisali vrednost 0. Neprimerne površine predstavljajo kategorije »rastlinjak«, »pozidano in sorodno zemljišče«, »barje«, »ostalo zamočvirjeno zemljišče«, »odprto zemljišče brez ali z nepomembnim rastlinskim pokrovom« in »voda«.

**Nadmorska višina** s svojim neposrednim vplivom na okoljske dejavnike, kot so podnebne in vegetacijske značilnosti območja, vpliva tudi na pogostost pojavljanja klopov. Nad določeno višino se pogostost

*Preglednica 1: Standardizacija posameznih kategorij vegetacijskega pokrova.*

vegetacijski pokrov/habitatni tip	primernost (0–12)	primernost (0–255)
ekoton	12	255
mešani gozd	10	213
listnati gozd	9	191
zemljišča v zaraščanju	6,5	138
travniške površine	5	106
nasadi	5	106
iglasti gozd	4	85
njive in vrtovi	2	43
vodne in druge neprimerne površine	0	0

pojavljanja drastično zmanjša. V Sloveniji gozdni klop naseljuje vse primerne niše od morske obale do nadmorske višine 1000 metrov (Duh 2002; Trilar 2015).

Podatke o nadmorskih višinah smo pridobili iz digitalnega modela reliefa z velikostjo celice 5 krat 5 m (Digitalni model višin ... 2011). Najprimernejše nadmorske višine za pojavljanje gozdnega klopa smo določili na podlagi literature (Hönig s sodelavci 2011; Duh 2002) in ekspertnega mnenja (Trilar 2015). Vrednosti celic podatkovnega sloja o nadmorskih višinah smo na podlagi teorije mehkih množic standardizirali na enotno mersko lestvico z vidika primernosti za pojavljanje. Stopnje članstva mehkim množicam posameznih celic smo določili z uporabniško določeno člansko funkcijo. Nadmorske višine do 600 m smo določili kot najprimernejše. Primernost linearno upada med 600 in 1000 m nadmorske višine. Nad 1000 m je verjetnost pojavljanja klopov minimalna oziroma nična (Trilar 2015).

Nadmorska višina 1000 m seveda ne predstavlja absolutne zgornje meje razširjenosti gozdnega klopa na obravnavanem območju. Posamezne primerke klopov lahko najdemo tudi nad to nadmorsko višino, vsekakor pa je verjetnost obstoja stabilnejše populacije klopov nad to višino ob ekoloških razmerah, značilnih za obravnavano območje, minimalna oziroma nična (Trilar 2015). Nadmorska višina v modelu predstavlja tudi omejitveni kriterij. V okviru Boolove standardizacije smo celicam z nadmorsko višino 1000 ali več metrov pripisali vrednost 0.

**Srnjad in jelenjad** sta glavna gostitelja za odrasle samice gozdnega klopa, zato je poznavanje njune gostote ključnega pomena pri ugotavljanju razširjenosti gozdnega klopa oziroma določevanju njegovega habitata (Trilar 2015). Pozitivna povezava med gostoto srnjadi in jelenjadi ter številom klopov je bila potrjena v več študijah (Tovornik 1988; Gilbert 2009; Tagliapietra s sodelavci 2011; Tack s sodelavci 2012).

Podatke o modelirani gostoti srnjadi in jelenjadi na območju Upravne enote Ruše smo pridobili iz zbirke podatkov Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani (Podatki o modelirani ... 2012). Podatki so rezultat raziskave, katere metoda temelji na kombinaciji podatkov štetja kupčkov iztrebkov in lokalni višini odvzema srnjadi in jelenjadi za obdobje med letoma 2006 in 2011, ki se v Sloveniji beleži v kilometrski mreži po celi državi (Stergar s sodelavci 2012).

Podatke kilometrske ločljivosti smo za namen izvedbe obtežene linearne kombinacije prevzorčili v ločljivost 5 krat 5 m z uporabo metode kubične konvolucije (angl. *cubic convolution*). V okviru te metode so vrednosti novih celic določene z uporabo interpolacijskega algoritma, ki upošteva vrednosti 16 sosednjih celic in je ena izmed metod, ki je uporabna pri prevzorčevanju podatkov z zveznimi vrednostmi (Resample ... 2015). Ta metoda prevzorčevanja se je za namen izdelave modela izkazala kot najprimernejša. Uporaba slednje lahko sicer privede do izgube oziroma spremembe vhodnih podatkov, ki pa smo jih preverili in označili kot sprejemljive.

Vrednosti celic podatkovnega sloja smo na podlagi teorije mehkih množic standardizirali na enotno mersko lestvico z vidika primernosti za pojavljanje. Stopnje članstva mehkim množicam posameznih celic smo določili z linearno člansko funkcijo na podlagi ekspertnega mnenja (Trilar 2015). Primernost za pojavljanje linearno narašča z gostoto srnjadi in jelenjadi. Vrednosti celic podatkovnega sloja primernosti za pojavljanje gozdnega klopa z vidika gostote srnjadi in jelenjadi obsegajo vrednosti od 12 (najmanj primerno) do 255 (najbolj primerno).

### 3.2 Izvedba modela

Rezultat obtežene linearne kombinacije je rastrski podatkovni sloj, ki označuje skupno primernost za pojavljanje gozdnega klopa. Vrednosti celic smo izračunali po formuli:

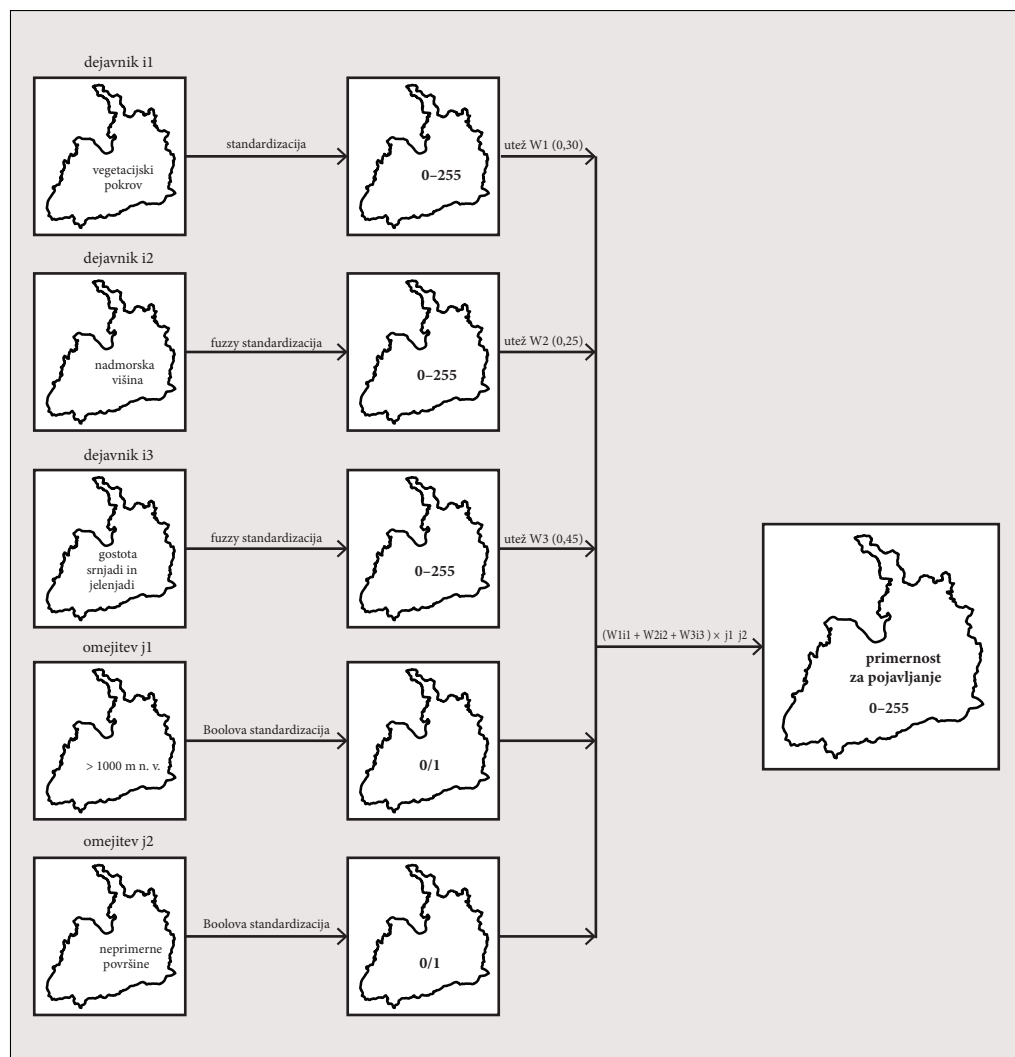
$$S = \sum W_i X_i \prod C_j$$

pri čemer je  $S$  – primernost,  $W_i$  – utež dejavnika,  $X_i$  – vrednost dejavnika in  $\prod C_j$  – zmnožek vrednosti omejitev (Eastman 2012).

Uteži posameznih dejavnikov smo določili na podlagi ekspertnega mnenja (Trilar 2015). Dejavniku vegetacijskega pokrova smo pripisali utež 0,30, dejavniku nadmorske višine pa 0,25. Najpomembnejšemu dejavniku, gostoti srnjadi in jelenjadi, smo pripisali utež 0,45. Omejitvene dejavnike so predstavljale vodne in druge neprimerne površine ter nadmorska višina nad 1000 m.

### 3.3 Preverjanje napovedne moči modela

Po določitvi območij, primernih za pojavljanje gozdnega klopa, smo v okviru terenskega dela raziskave preverili pravilnost oziroma napovedno moč modela. Preverjanje modela smo izvedli na 10 testnih površinah, kjer smo opravili vzorčenje oziroma nabiranje kloпов. Testne površine smo določili na podlagi izračunanih primernosti, pri čemer smo se osredotočili na primerne površine z vidika vegetacijskega



Slika 2: Metodološki postopek.

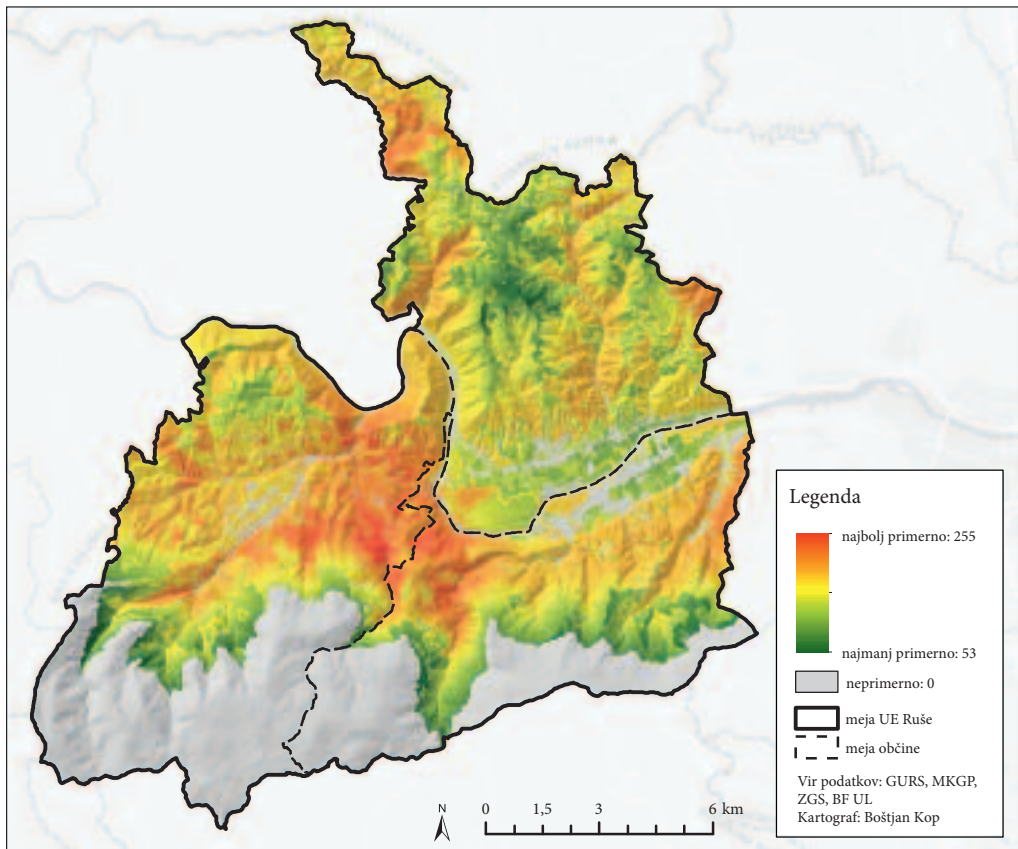
pokrova (rob gozda, travnik, strnjen gozd). Z izborom površin smo skušali zadostiti ekološkim razmeram celotnega območja. Vzorčenje smo opravili junija 2015 ob jasnem vremenu.

Vzorčenje smo opravili po metodi vlečenja zastave. Metoda vlečenja zastave (angl. *flagging method*) je najpogosteje uporabljena metoda za nabiranje kloпов iz vegetacije. Kot zastavo smo uporabili platneno rjuho bele barve, ki je na eni strani pritrjena na palico. Zastava se vleče po rastlinju in grmičevju, na katero se primejo nenasasani klopi, ki aktivno prežijo na gostitelja, saj zastava posnema njihovo gibanje (Sonenshine 1993). Zastavo se po nekaj potegih pregleda; uporablja se obe strani. Metoda je primerna za določanje števila kloпов na časovno enoto. V našem primeru je časovna enota znašala 1 uro. Klope smo s pinceto sproti pobirali z zastave in jih shranili v 70 % alkoholu. V laboratoriju smo nato določili število nabranih kloпов na posamezni testni površini.

## 4 Rezultati in diskusija

### 4.1 Primernost za pojavljanje gozdnega klopa

Model razširjenosti gozdnega klopa na območju UE Ruše je rastrski podatkovni sloj, ki označuje skupno primernost za pojavljanje gozdnega klopa. Vrednosti celic obsegajo vrednosti od 0 do 255. Model



Slika 3: Zemljevid primernosti za pojavljanje gozdnega klopa na območju UE Ruše.

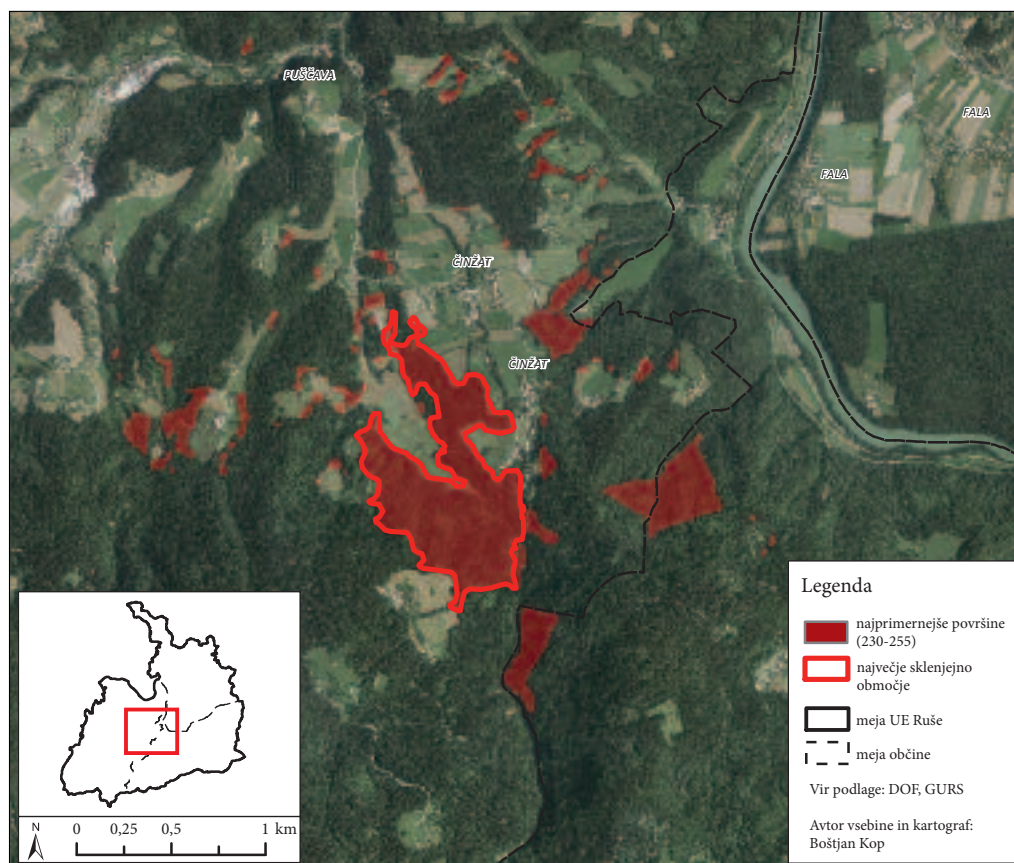
razširjenosti smo predstavili kot zemljevid primernosti za pojavljanje gozdnega klopa na območju UE Ruše (slika 3). Območja z najvišjo primernostjo za pojavljanje smo predstavili na posebnem zemljevidu (slika 4).

Najprimernejša območja so osredotočena v osrednjem delu območja, kjer je primernost najvišja z vidika najpomembnejšega dejavnika, gostote srnjadi in jelenjadi. Območja z visoko primernostjo najdemo še na skrajnem severnem in zahodnem delu. Kar dobrih 27 % površine območja oziroma celic predstavljajo območja, neprimerna za habitate gozdnega klopa. To so vsa območja nad 1000 m nadmorske višine ter območja z neprimerno rabo oziroma pokrovnostjo tal.

Kot najprimernejša območja za pojavljanje gozdnega klopa smo določili celice z vrednostmi med 230 in 255. Površina največjega sklenjenega območja oziroma vroče točke je slabih 62 ha, povprečna vrednost primernosti položajno ustreznih celic je 242. Nahaja se južno od naselja Činžat.

#### 4.2 Ocena napovedne moči modela

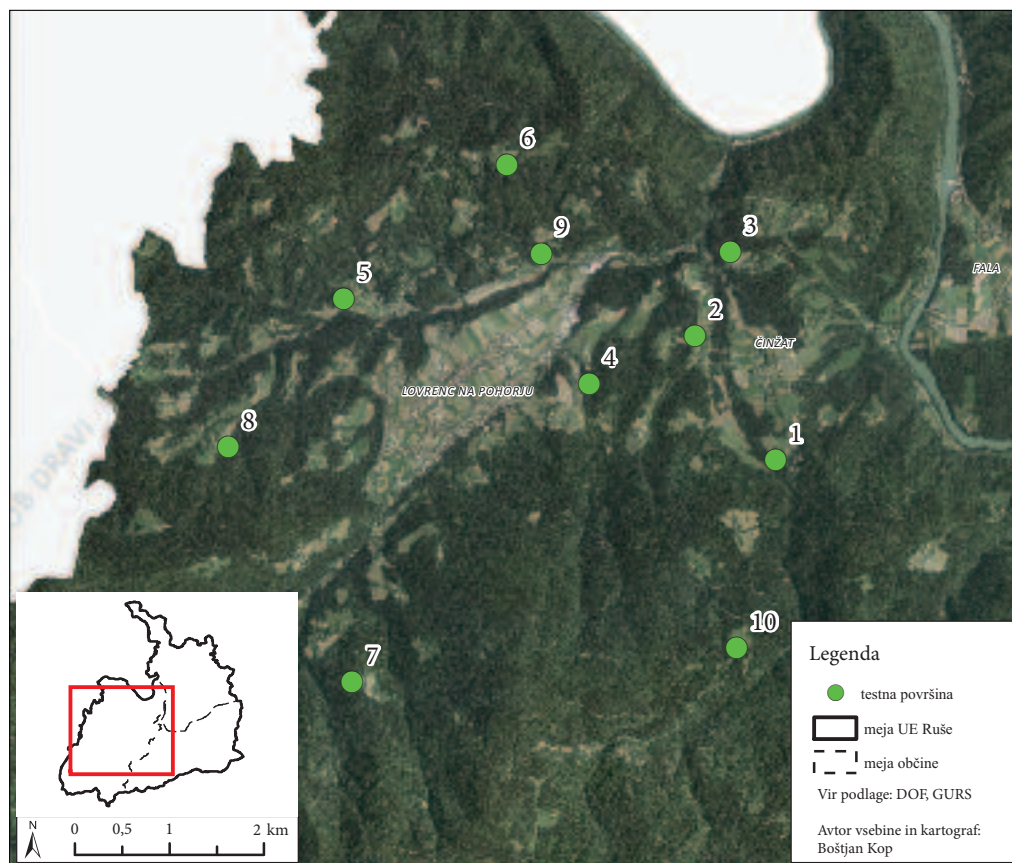
Zanesljivost oziroma napovedno moč modela smo preverili na 10 testnih površinah. Skupno smo nabrali 325 klopotov.



Slika 4: Območja z najvišjo primernostjo za pojavljanje gozdnega klopa na območju UE Ruše.

Preglednica 2: Pregled testnih površin in števila nabranih klopotov.

testna površina	nadmorska višina	izračunana primernost	število klopotov
1	467 m	239	42
2	376 m	219	31
3	442 m	199	22
4	444 m	214	30
5	410 m	195	64
6	715 m	176	23
7	890 m	157	20
8	495 m	199	53
9	435 m	194	31
10	963 m	136	9



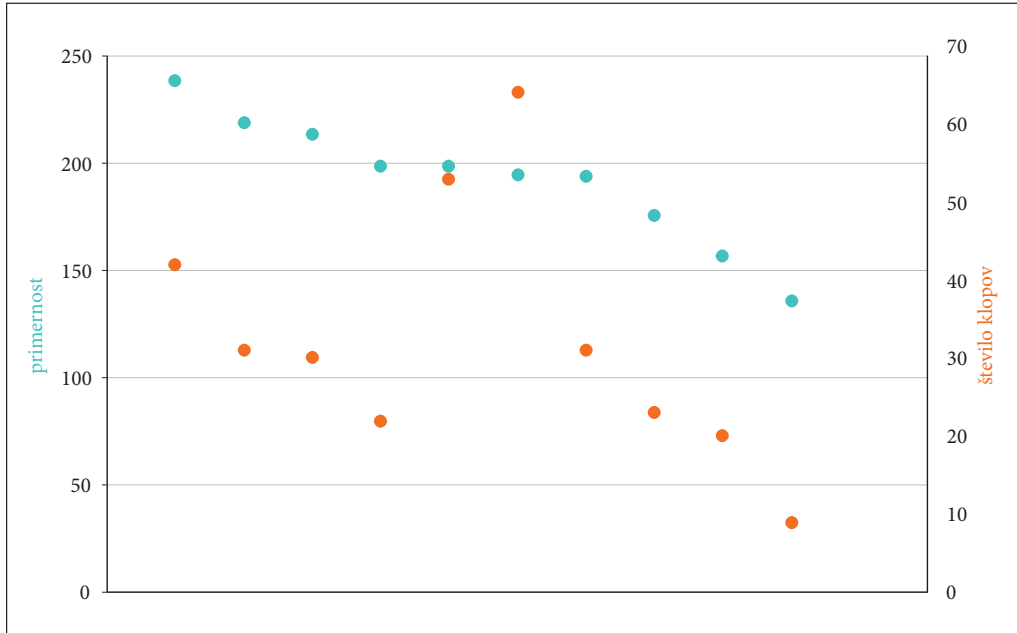
Slika 5: Lokacije testnih površin.





BOŠTJAN KOP

Slika 6: Testne površine.



Slika 7: Povezava med izračunano primernostjo za pojavljanje in številom nabranih klopov.

Statistična analiza, ki bi dokazovala povezavo oziroma korelacijo med izračunano primernostjo za pojavljanje in številom nabranih klopov, je zaradi premajhnega vzorca neizvedljiva. Iz vzorca 325 osebkov ne moremo sklepati na lastnosti celotne populacije. Prav tako ne moremo izločiti vpliva trenutnih vremenskih razmer na število nabranih klopov, saj smo na posamezni testni površini vzorčili samo enkrat. Rezultati enega terenskega vzorca na posamezni lokaciji vseeno nakazujejo zanesljivost modela, saj smo na lokacijah z višjo izračunano primernostjo nabrali več klopov in obratno. Predpostavljeno povezano med izračunano primernostjo za pojavljanje in številom nabranih klopov deloma nakazuje tudi razsevni diagram na sliki 7.

Poudariti je treba, da izračunane primernosti veljajo za celico, ki položajno ustreza koordinatam posameznih testnih površin. V odvisnosti od krajevne gostote klopov smo vzorčili več sosednjih celic z različno izračunano primernostjo. Kljub temu zaradi neposredne bližine ne gre pričakovati večjih odstopanj v vrednostih primernosti (Kop 2016).

## 5 Sklep

Slovenija spada med endemična območja za okužbo z lymsko boreliozo in klopnim meningoencefalitisom. Ob načrtovanju aktivnosti na območjih z visoko primernostjo za pojavljanje gozdnega klopa tako velja posebno pozornost nameniti zaščiti pred vbodom. Zaščiti bi večjo pozornosti morali nameniti še posebej skupine oseb, ki so tveganju za ugriz klopa izpostavljene med opravljanjem svojega dela.

V prispevku smo prikazali nov pristop k proučevanju razširjenosti gozdnega klopa in potrdili vsestransko uporabnost geoinformacijskih orodij in postopkov pri proučevanju prostora. Na podlagi razpoložljivih prostorskih podatkov, ki odražajo ekološke parametre, ki vplivajo na razširjenost klopov, smo določili primernost za pojavljanje gozdnega klopa na območju UE Ruše.

Zasnova modela omogoča izboljšave, bodisi z vključitvijo več dejavnikov bodisi s prilagojenim metodološkim pristopom. Napovedno moč modela bi bolj zanesljivo ocenili z dolgoročnejšo terensko študijo, ki bi izničila trenutne vremenske vplive na aktivnost klopov. V okviru slednje bi klope nabirali enkrat mesečno v mesecih aktivnosti klopov (od aprila do oktobra) v več zaporednih letih ob podobnih vremenskih razmerah. Napovedno moč modela bi nato preverili z izračunom korelacijskega koeficienta med številom nabranih klopov in izračunano primernostjo za pojavljanje na posamezni testni površini (Kop 2016).

Navedena spoznanja obenem predstavljajo izhodišča za nadaljnje raziskovalno delo.

## 6 Viri in literatura

- Daniel, M., Kolar, J., Zeman, P. 2004: GIS tools for tick and tick-borne disease occurrence. *Parasitology* 129.
- Daniel, M., Zitek, K., Danielova, V., Križ, B., Valter, J., Kott, I. 2006: Risk assessment and prediction of *Ixodes ricinus* tick questing activity and human tick-borne encephalitis infection in space and time. *International Journal of Medical Microbiology* 296.
- Digitalni model višin 5. Javne informacije Slovenije, Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2011.
- Duh, D. 2002: Gozdni klop (*Ixodes ricinus*) kot prenašalec babezij v Sloveniji. Magistrsko delo, Medicinska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Durmišič, E. 2006: Navadni gozdni klop *Ixodes ricinus* kot prenašalec virusa klopnega meningoencefalitisa v Sloveniji. Diplomsko delo, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Eastman, J. R. 2012: IDRISI Selva Manual, Version 17. Worcester.
- Eisen, R. J., Eisen, L., Lane, R. S. 2006: Predicting Density of *Ixodes pacificus* Nymphs in dense woodlands in Mendocino County, California, based on Geographic information Systems and Remote Sensing versus Field-derived Data. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 74.
- Gams, I. 2008: Geomorfologija Pohorja. *Acta geographica Slovenica* 48-2. DOI: <http://dx.doi.org/10.3986/AGS48201>
- Gilbert, L. 2009: Altitudinal patterns of tick and host abundance: A potential role for climate change in regulating tick-borne diseases? *Oecologia* 162. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00442-009-1430-x>
- Grafični podatki RABA za celo Slovenijo. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Ljubljana, 2015. Medmrežje: [http://rkg.gov.si/GERK/documents/RABA\\_2015\\_04\\_30.RAR](http://rkg.gov.si/GERK/documents/RABA_2015_04_30.RAR) (5. 5. 2015).
- Hönig, V., Švec, P., Masar, O., Grubhoffer, L. 2011: Tick-Borne diseases risk model for South Bohemia (Czech Republic). GIS Ostrava. Ostrava.
- Kop, B. 2016: Modeliranje razširjenosti gozdnega klopa (*Ixodes ricinus*) na območju Upravne enote Ruše s pomočjo geografskih informacijskih sistemov. Magistrsko delo, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Mocnik, N. 2007: Modeliranje habitata klopa *Ixodes ricinus*, glavnega prenašalca Lymške boreliozе, na področju Zgornjega Posočja. Diplomsko delo, Fakulteta za znanosti o okolju Univerze v Novi Gorici. Nova Gorica.
- Opisi vrst posameznih dejanskih rab, 2004. Pravilnik o vsebini in načinu vodenja zbirke podatkov o dejanski rabi prostora (priloga). Uradni list Republike Slovenije 9/2004. Ljubljana.
- Perko, D., Orožen Adamič, M. (ur). 2001: Slovenija – pokrajine in ljudje. Ljubljana.
- Podatki o deležu listavcev in iglavcev na ravnih gozdnih odsekih. Podatkovni sloj, Zavod za gozdove Slovenije. Ljubljana, 2015.
- Podatki o modelirani gostoti srnjadi in jelenjadi. Podatkovni sloj, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Ljubljana, 2012.

- Prebivalstvo po velikih in petletnih starostnih skupinah in spolu, upravne enote, Slovenija, polletno. SI-STAT podatkovni portal. Statistični urad Republike Slovenije. Ljubljana, 2015. Medmrežje: [http://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/varval.asp?ma=05C3002S&ti=&path=../Database/Dem\\_soc/05\\_prebivalstvo/10\\_stevilo\\_preb/15\\_05C30\\_prebivalstvo\\_upravne/&lang=2](http://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/varval.asp?ma=05C3002S&ti=&path=../Database/Dem_soc/05_prebivalstvo/10_stevilo_preb/15_05C30_prebivalstvo_upravne/&lang=2) (28. 6. 2015).
- Resample (Data Management), 2015. Medmrežje: <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html#//00170000009t000000> (23. 11. 2015).
- Sonenshine, D. E. 1993: *Biology of ticks*, 2. Oxford.
- Stergar, M., Borkovič, D., Hiršelj, J., Kavčič, I., Krofel, M., Mrakič, M., Troha, R., Videmšek, U., Vrčon, B., Jerina, K. 2012: Ugotavljanje gostot prostoživečih parkljarjev s kombinirano metodo štetja kupčkov iztrebkov in podatkov o odvzemu. Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Tack, W., Madder, M., Baeten, L., Vanhellefont, M., Gruwez, R., Verheyen, K. 2012: Local habitat and landscape affect *Ixodes ricinus* tick abundances in forests on poor, sandy soils. *Forest Ecology and Management* 265.
- Tagliapietra, V., Rosa, R., Arnoldi, D., Cagnacci, F., Capelli, G., Montarsi, F., Hauffe H. C., Rizzoli, A. 2009: Saturation deficit and deer density affect questing activity and local abundance of *Ixodes ricinus* (Acari, Ixodidae) in Italy. *Veterinary Parasitology* 183. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.07.022>.
- Tovornik, D. 1988: Pomen srne (*Capreolus capreolus* Linne, 1758) kot gostiteljice in diseminatorice iksodidnih klopov v SR Sloveniji (Jugoslavija). *Biološki vestnik* 36-4.
- Trilar, T. 2004: Ticks (Acarina: Ixodidae) on birds in Slovenia. *Acrocephalus* 25.
- Trilar, T. 2015. *Gozdni klop (osebni vir)*. Prirodoslovni muzej Slovenije. Ljubljana.



## DOLOČANJE POKRAJINSKIH VROČIH IN MRZLIH TOČK IZ POKRAJINSKIH TIPIZACIJ SLOVENIJE

**dr. Drago Perko, dr. Rok Ciglič**

Geografski inštitut Antona Melika, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti  
drago@zrc-sazu.si, rok.ciglic@zrc-sazu.si

UDK: 911.52(497.4)

### IZVLEČEK

#### **Določanje pokrajinskih vročih in mrzlih točk iz pokrajinskih tipizacij Slovenije**

Pokrajinske vroče točke so območja z največjo pokrajinsko raznolikostjo, pokrajinske mrzle točke pa območja z najmanjšo pokrajinsko raznolikostjo.

V poglavju iščemo pokrajinske vroče in mrzle točke iz petih pokrajinskih tipizacij Slovenije in jih soočamo s pokrajinskimi vročimi in mrzlimi točkami, določenimi na temelju digitalnih podatkov o reliefu, kamninah in rastlinstvu, ki so najpomembnejše sestavine notranje sestave slovenskih pokrajin in hkrati njihove zunanje podobe. Pri obeh načinih določanja smo kot vroče točke opredelili desetino površja Slovenije z najvišjo pokrajinsko raznolikostjo. Enako velja za mrzle točke.

### KLJUČNE BESEDE

geografija, relief, kamnine, rastlinstvo, pokrajinska tipizacija, pokrajinska raznolikost, pokrajinska vroča točka, pokrajinska mrzla točka, geografski informacijski sistem, Slovenija

### ABSTRACT

#### **Determination of landscape hotspots and coldspots from landscape typologies of Slovenia**

Landscape hotspots are defined as areas with the highest landscape diversity, while landscape coldspots are defined as areas with the lowest landscape diversity.

In the chapter we determine landscape hotspots and coldspots from five landscape typologies of Slovenia and face them with the landscape hotspots and coldspots, calculated from digital data on relief, rock, and vegetation, which are the most significant elements of the internal structure of Slovenian landscapes and at the same time of their external appearance. One-tenth of Slovenia's surface with the highest landscape diversity was defined as landscape hotspots in both cases. The same applies to the coldspots.

### KEY WORDS

geography, relief, rocks, vegetation, landscape typology, landscape diversity, landscape hotspot, landscape coldspot, geographic information system, Slovenia

## 1 Uvod

S pokrajinsko raznolikostjo se ukvarja vse več raziskovalcev (Bailey 1996; Dramstad s sodelavci 2001; Mücher s sodelavci 2003; Šímová in Gdulová 2012; Hou in Walz 2013; Walz in Syrbe 2013; Mocior in Kruse 2016).

Tudi v okviru aplikativnega projekta Pokrajinska raznolikost in vroče točke Slovenije (L6-6852), ki ga sofinancirata Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije in Slovenska akademija znanosti in umetnosti, se ukvarjamo s pokrajinsko raznolikostjo ter na različne načine določamo pokrajinske vroče točke in mrzle točke, jih primerjamo in vrednotimo.

Z uporabo geografskega informacijskega sistema smo na temelju digitalnih podatkov o reliefu, kamninah in rastlinstvu, ki so najpomembnejše sestavine notranje sestave slovenskih pokrajin in hkrati njihove zunanje podobe, najprej izračunali pokrajinsko raznolikost Slovenije.

Reliefni sloj smo pripravili iz 195 izvirnih enot razgibanosti površja, ki smo jih smiselno združili v 7 enot, litološki sloj iz 938 izvirnih litoloških enot, ki smo jih združili v 15 enot, vegetacijski sloj pa iz 65 izvirnih enot potencialne vegetacije, ki smo jih združili v 15 enot (Perko, Hrvatini in Ciglič 2015; Perko, Ciglič in Hrvatini 2017).

Območja z visoko pokrajinsko raznolikostjo so pokrajinske vroče točke, območja z nizko pokrajinsko raznolikostjo pa pokrajinske mrzle točke.

Kot vroče točke smo opredelili desetino Slovenije z najvišjo pokrajinsko raznolikostjo, kot mrzle točke pa desetino Slovenije z najnižjo pokrajinsko raznolikostjo. Zaradi pogostostne porazdelitve pokrajinske raznolikosti in pogostega pojavljanja istih vrednosti ni bilo mogoče izbrati natančno 10 % površin vročih točk in 10 % površin mrzlih točk.

## 2 Metode dela

Podobno, kot smo ugotovili pokrajinske vroče in mrzle točke na temelju prekrivanja reliefnih, litoloških in vegetacijskih tipov (slika 1), smo določili vroče in mrzle točke tudi na temelju prekrivanja več pokrajinskih tipizacij Slovenije, ki so jih izdelali različni avtorji (slika 2). Na voljo smo imeli le 5 tipizacij. Ostale delitve Slovenije so namreč regionalizacije, mešanice med regionalizacijo in tipizacijo ali pa členitve zgolj na temelju posamezne pokrajinske prvine. Enak pristop smo uporabili tudi za določanje pokrajinske raznolikosti Evrope, kjer smo upoštevali 4 pokrajinske razdelitve (Ciglič in Perko 2013).

Najstarejša je Melikova tipizacija, ki jo je avtor opredelil kot prirodnogeografska sestava Slovenije (Melik 1946). Temelji predvsem na oblikovanosti površja, kamninah in podnebnju. Slovenijo je razdelil na 18 temeljnih enot, tipov.

Leta 1996 je Perko na temelju prekrivanja reliefa, kamnin, rastja in rabe tal z geografskim informacijskim sistemom ugotovil 48 prostorsko ločenih pokrajinskih jeder oziroma pokrajinsko enotnih območij, ki so jim sodelavci Geografskega inštituta Antona Melika ZRC SAZU glede na poznavanje določenega dela Slovenije subjektivno določili meje in izdelali regionalizacijo z 48 mezoregijami. Razlike med mezoregijami je Perko preveril s hierarhičnim združevanjem mezoregij po Wardovi metodi (Perko 1998), nato pa leta 1998 na tej podlagi na podoben način izdelal še pokrajinsko tipizacijo Slovenijo z 9 tipi (Perko 1998, 2007).

Leta 2002 je Špesova s sodelavci izdelala pokrajinskoekološko tipizacijo z abstrahiranjem pokrajinskih razlik na različnih ravneh. Določili so 13 pokrajinskoekoloških tipov, ki se razlikujejo predvsem po ranljivosti in odzivanju na človekove vplive (Špes s sodelavci 2002).

V projektu Določanje naravnih pokrajinskih tipov Slovenije z geografskim informacijskim sistemom smo na temelju prostorskega sovpadanja reliefnih, litoloških in vegetacijskih enot izdelali več tipizacij (Perko, Hrvatini in Ciglič 2015). Izbrali smo dve.

Prva, manj posplošena sloni na prostorskem prekrivanju 7 reliefnih, 15 litoloških in 15 vegetacijskih enot. Teoretično je možnih 1575 kombinacij, dejansko se jih pojavlja 713, od tega 30 najbolj pogostih zavzema dobro polovico površja Slovenije. Kombinacije smo združili v 27 pokrajinskih tipov.

Druga, bolj posplošena tipizacija sloni na prostorskem prekrivanju 4 reliefnih, 7 litoloških in 7 vegetacijskih enot. Teoretično je možnih 196 enot, dejansko se pojavlja 175 kombinacij, od tega 30 najbolj pogostih zavzema več kot dve tretjini površja Slovenije. Kombinacije smo združili v 24 pokrajinskih tipov.

Najprej smo izračunali raznolikost Melikove tipizacije (slika 3). Za vsako celico smo s pomočjo premičnega okna izračunali razmerje med številom pokrajinskih tipov (enot), ki se pojavljajo v radiju 1 km, in številom vseh pokrajinskih tipov (enot). Število vseh pokrajinskih tipov je 18, zato je najmanjše možno razmerje 1 proti 18 ali 0,0556, če se v kilometrskem radiju pojavi le 1 pokrajinski tip, največje možno razmerje pa 18 proti 18 ali 1,0000, če se v kilometrskem radiju pojavi vseh 18 pokrajinskih tipov. Na enak način smo izračunali tudi raznolikost ostalih tipizacij.

Na koncu smo izračunali povprečja petih delnih raznolikosti. To je pokrajinska raznolikost. Najmanjše možno razmerje je 5 proti 91 ali 0,0550, če se v kilometrskem radiju pojavi le po 1 tip vsake tipizacije, največje možno razmerje pa 91 proti 91 ali 1,0000, če se v kilometrskem radiju pojavi hkrati vseh 18 tipov prve tipizacije, 9 tipov druge tipizacije, 13 tipov tretje tipizacije, prve tipizacije 27 tipov četrte tipizacije in 24 tipov pete tipizacije.

Na primer pokrajinska raznolikost 0,2500 pomeni, da se v kilometrskem radiju hkrati pojavi 25 % ali četrtnina od vseh 82 možnih tipov vseh petih upoštevanih tipizacij.

Spet smo kot vroče točke opredelili desetino Slovenije z najvišjo pokrajinsko raznolikostjo, kot mrzle točke pa desetino Slovenije z najnižjo pokrajinsko raznolikostjo.

### 3 Primerjava

Pokrajinske vroče in mrzle točke na temelju prekrivanja pokrajinskih tipizacij bomo imenovali sintezne točke, saj vse upoštevane tipizacije vključujejo več pokrajinskih sestavin hkrati, pokrajinske vroče in mrzle točke na temelju prekrivanja reliefnih, litoloških in vegetacijskih tipov pa analizne točke, saj vključujejo le po eno pokrajinsko sestavino. Podobno bomo ločili med sintezno in analizno raznolikostjo.

Pri analiznih pokrajinskih točkah je vročih točk (ločenih poligonov) 912, mrzlih točk pa 681, kar je 25 % manj. Skupna površina vročih točk meri 1688,85 km<sup>2</sup>, mrzlih točk pa 1805,69 km<sup>2</sup>, kar je 7 % več. Povprečna velikost vročih točk je 185 ha, mrzlih točk pa 265 ha, kar je 43 % več. Največja vroča točka meri 12.453 ha, največja mrzla točka pa 16.187 ha, kar je 30 % več.

Pri sinteznih pokrajinskih točkah je vročih točk 660, mrzlih točk pa 639, kar je komaj 3 % manj. Skupna površina vročih točk meri 1656,13 km<sup>2</sup>, mrzlih točk pa 2135,16 km<sup>2</sup>, kar je 29 % več. Povprečna velikost vročih točk je 251 ha, mrzlih točk pa 334 ha, kar je 33 % več. Največja vroča točka meri 7242 ha, največja mrzla točka pa 9756 ha, kar je 35 % več.

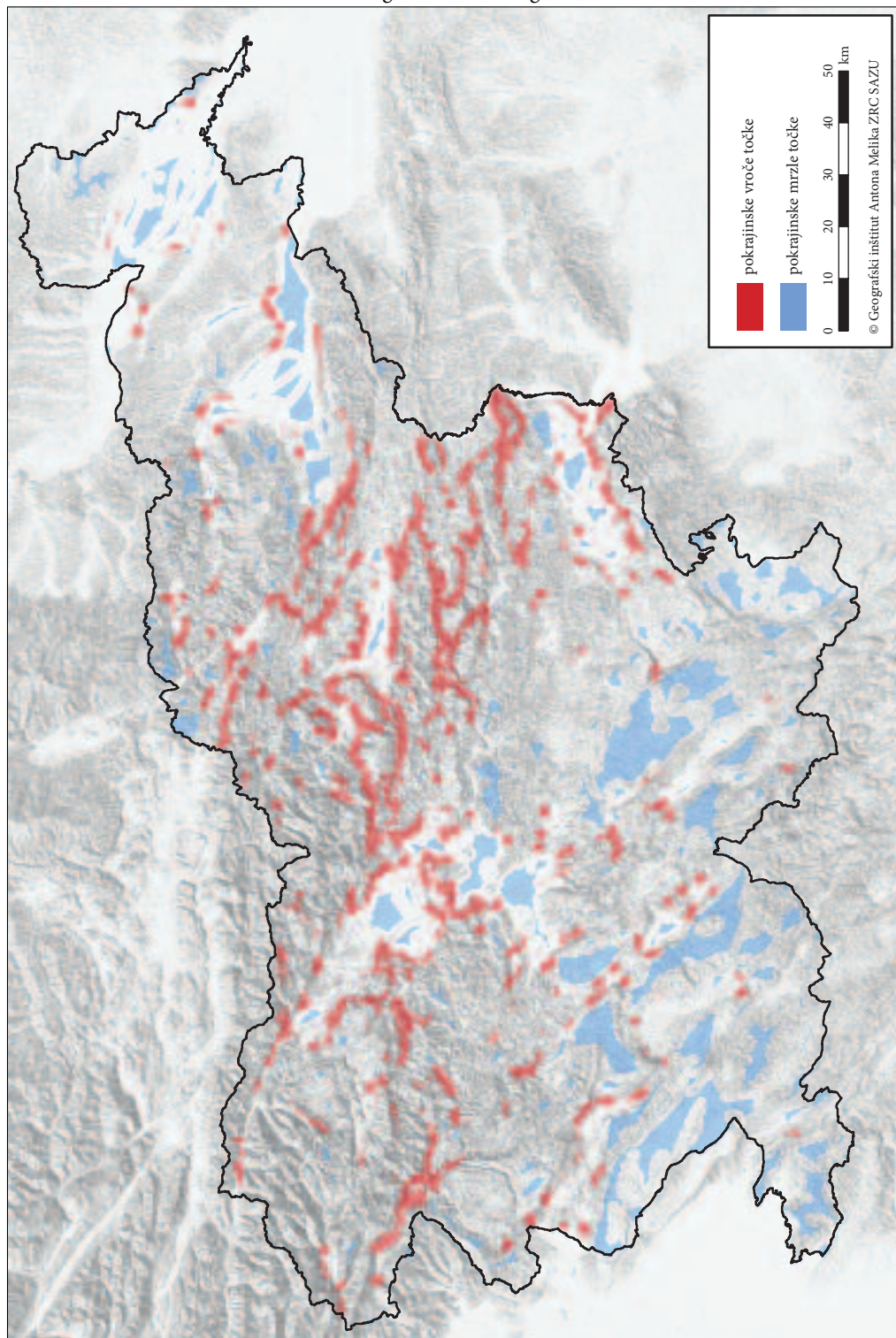
Sinteznih pokrajinskih vročih in mrzlih točk (poligonov) je nekaj manj kot analiznih in so nekaj večje kot analizne. Največja razlika je pri največjih točkah. Največja analizna vroča točka je kar 72 % večja od največje sintezne vroče točke, največja analizna mrzla točka pa 66 % večja od največje sintezne mrzle točke.

Preglednica 1 pokaže, da dve tretjini površin sinteznih mrzlih točk ležita na analiznih mrzlih točkah, tretjina pa leži na analiznih vmesnih točkah. Slaba polovica površin sinteznih vročih točk leži na analiznih vročih točkah, dobra polovica pa na analiznih vmesnih točkah.

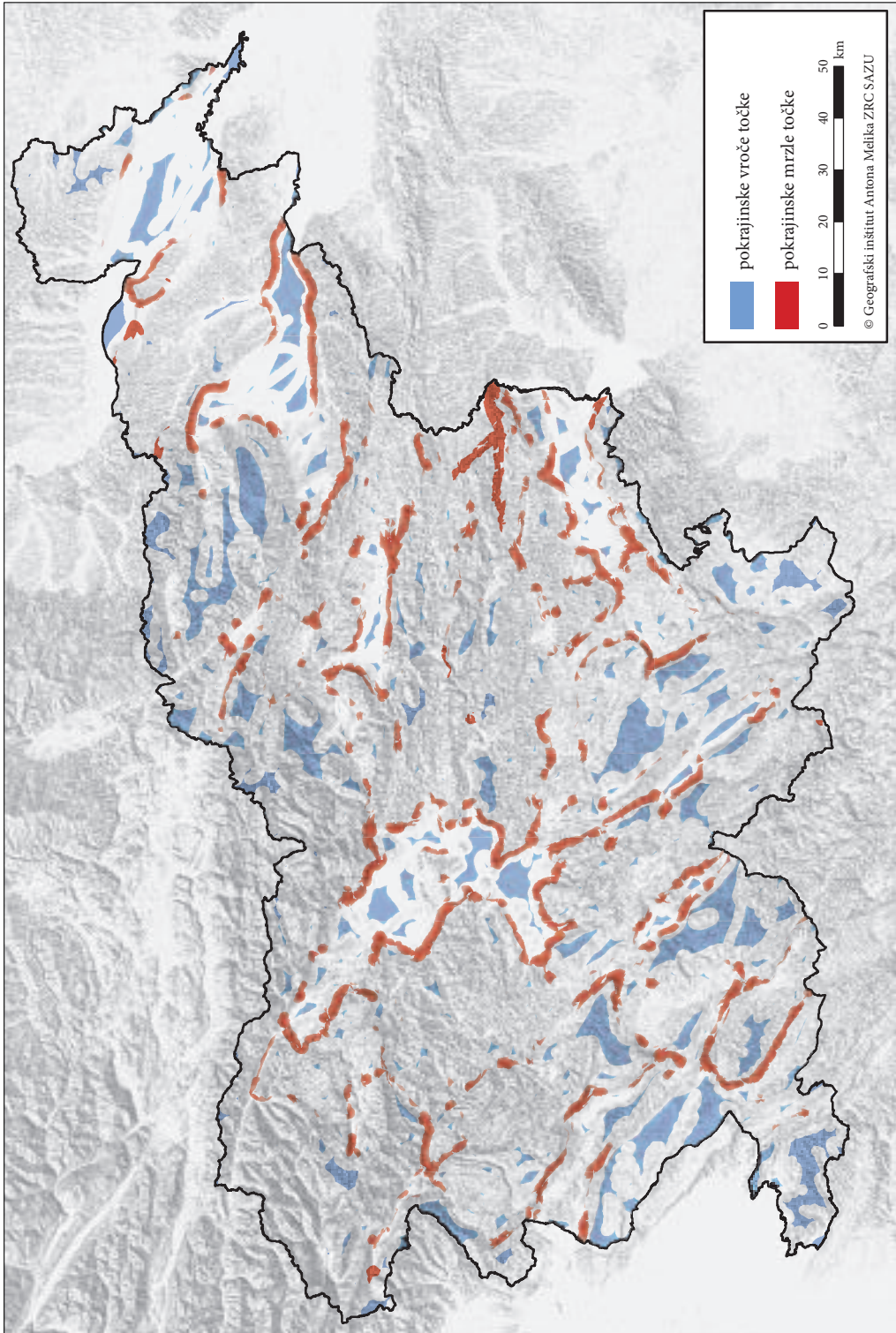
*Slika 1: Pokrajinske vroče in mrzle točke na temelju prekrivanja reliefnih, litoloških in vegetacijskih tipov. ► (str. 152)*

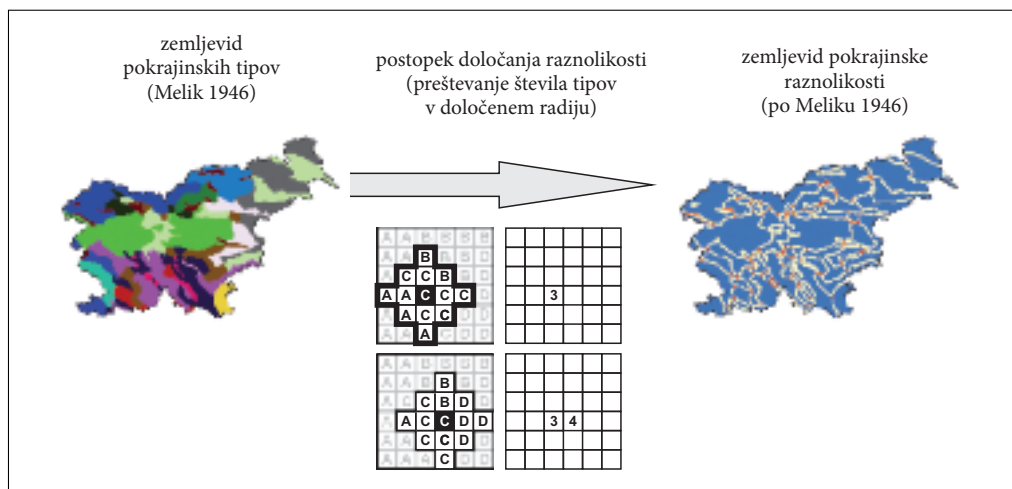
*Slika 2: Pokrajinske vroče in mrzle točke na temelju prekrivanja petih pokrajinskih tipizacij. ► (str. 153)*





Določanje pokrajinskih vročih in mrzlih točk iz pokrajinskih tipizacij Slovenije





Slika 3: Prikaz določanja pokrajinske raznolikosti.

Štiri petine površin analiznih mrzlih točk ležijo na sinteznih mrzlih točkah, petina pa leži na sinteznih vmesnih točkah. Slaba polovica površin analiznih vročih točk leži na sinteznih vročih točkah, dobra polovica pa na sinteznih vmesnih točkah.

Več kot desetina površin sinteznih vmesnih točk sovpada s površinami analiznih vmesnih točk, enako velja obratno. Samo 13 stotink odstotka površin sinteznih mrzlih točk leži na analiznih vročih točkah in niti stotinka odstotkov površin sinteznih vročih točk ne leži na analiznih mrzlih točkah. Obratno pa niti stotinka površin analiznih mrzlih točk ne leži na sinteznih vročih točkah, 17 stotink površin analiznih vročih točk pa leži na sinteznih mrzlih točkah.

Preglednica 1: Razporeditev površin sinteznih pokrajinskih vročih in mrzlih točk po analiznih pokrajinskih vročih in mrzlih točkah v Sloveniji.

	površina sinteznih mrzlih točk (%)	površina sinteznih vmesnih točk (%)	površina sinteznih vročih točk (%)	površina sinteznih točk skupaj (%)
površina analiznih mrzlih točk (%)	7,03	1,87	0,00	8,91
površina analiznih vmesnih točk (%)	3,49	74,75	4,53	82,76
površina analiznih vročih točk (%)	0,01	4,68	3,64	8,33
površina analiznih točk skupaj (%)	10,53	81,30	8,17	100,00
površina analiznih mrzlih točk (%)	78,95	21,04	0,00	100,00
površina analiznih vmesnih točk (%)	4,21	90,32	5,47	100,00
površina analiznih vročih točk (%)	0,17	56,15	43,68	100,00
površina analiznih točk skupaj (%)	10,53	81,30	8,17	100,00
površina analiznih mrzlih točk (%)	66,77	2,31	0,00	8,91
površina analiznih vmesnih točk (%)	33,09	91,94	55,45	82,76
površina analiznih vročih točk (%)	0,13	5,75	44,55	8,33
površina analiznih točk skupaj (%)	100,00	100,00	100,00	100,00

Sovpadanje površin sinteznih in analiznih pokrajinskih točk je torej pri vmesnih točkah dobrih 90 %, pri vročih in mrzlih točkah pa okoli 70 %, sovpadanje mrzlih in vročih točk pa je zanemarljivo. Zaradi že omenjenega problema velikega pojavljanja istih vrednosti pokrajinske raznolikosti površina sinteznih in analiznih vročih točk ni povsem enaka, točno 10 % (preglednica 1), zato popolnega ujemanja ni mogoče doseči.

## 4 Sklep

Čeprav smo za ugotavljanje pokrajinske raznolikosti uporabili enako metodo, pa sintezna raznolikost ter sintezne vroče in mrzle točke prostorsko ne sovpadajo povsem z analizno raznolikostjo ter analiznimi vročimi in mrzlimi točkami. Vendar pa je delež površin sinteznih mrzlih točk na analiznih vročih točkah in obratno zanemarljiv, korelacijski koeficient med sintezno raznolikostjo, ki temelji na znanju več generacij slovenskih geografov, in analizno raznolikostjo, ki temelji na sodobnih podatkih slovenskih geografov, geologov in biologov, pa visok. Njegova vrednost je 0,7012, kar je pri 32.436.693 celicah statistično značilno pri tveganju, precej manjšem od 0,1 %. Ti dve dejstvi pa kažeta, da tudi z določanjem pokrajinske raznolikosti na temelju prekrivanja pokrajinskih tipizacij dobimo zadovoljive rezultate oziroma da se rezultati med obema načinoma določanja pokrajinske raznolikosti ne razlikujejo bistveno.

## 5 Viri in literatura

- Bailey, R. G. 1996: Ecosystem geography. New York.
- Ciglič, R., Perko, D. 2013: Europe's landscape hotspots. *Acta geographica Slovenica* 53-1. DOI: <http://dx.doi.org/10.3986/AGS53106>
- Dramstad, W. E., Fry, G., Fjellstad, W. J., Skar, B., Helliksen, W., Sollund, M.-L. B., Tveit, M. S., Geelmuyden, A. K., Framstad, E. 2001: Integrating landscape-based values—Norwegian monitoring of agricultural landscapes. *Landscape and Urban Planning* 57, 3–4.
- Hou, W., Walz, U. 2013: Enhanced analysis of landscape structure: Inclusion of transition zones and small scale landscape elements. *Ecological Indicators* 31. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.11.014>
- Melik, A. 1946: Prirodnogospodarska sestava Slovenije. *Geografski vestnik* 18.
- Mocior, E., Kruse, M. 2016: Educational values and services of ecosystems and landscapes – An overview. *Ecological indicators* 60. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.06.031>
- Mücher, C. A., Bunce, R. G. H., Jongman, R. H. G., Klijn, J. A., Koomen, A. J. M., Metzger, M. J., Wascher, D. M. 2003: Identification and Characterisation of Environments and Landscapes in Europe. *Alterra rapport 832*. Wageningen, Alterra.
- Perko, D. 1998: The Regionalization of Slovenia. *Geografski zbornik* 38.
- Perko, D. 2007: Landscapes. *Slovenia in focus*. Ljubljana.
- Perko, D., Ciglič, R., Hrvatin, M. 2017: Determination of landscape hotspots of Slovenia. *Acta geographica Slovenica* 57-1. DOI: <http://dx.doi.org/10.3986/AGS.4618>
- Perko, D., Hrvatin, M., Ciglič, R. 2015: A methodology for natural landscape typification of Slovenia. *Acta geographica Slovenica* 55-2. DOI: <http://dx.doi.org/10.3986/AGS.1938>
- Šimová, P., Gdulová, K. 2012: Landscape indices behavior: A review of scale effects. *Applied geography* 34. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.01.003>
- Špes, M., Cigale, D., Lampič, B., Natek, K., Plut, D., Smrekar, A. 2002: Študija ranljivosti okolja. *Geographica Slovenica* 35, 1–2.
- Walz, U., Syrbe, R.-U. 2013: Linking landscape structure and biodiversity. *Ecological indicators* 31.
- Zemljevid potencialne naravne vegetacije. Biološki inštitut Jovana Hadžija ZRC SAZU. Ljubljana, 1998.



# PRIMERNOST PODATKOV PROJEKTA LASERSKO SKENIRANJE SLOVENIJE ZA ARHEOLOŠKO INTERPRETACIJO: METODA IN ŠTUDIJSKI PRIMER

**dr. Benjamin Štular**

*Inštitut za arheologijo, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti  
bstular@zrc-sazu.si*

**dr. Edisa Lozić**

*Samostojna raziskovalka  
edisalozic@gmail.com*

UDK: 528.8.044.6:902(497.4)

## IZVLEČEK

### **Primernost podatkov projekta Lasersko skeniranje Slovenije za arheološko interpretacijo: metoda in študijski primer**

V prispevku obravnavamo primernost podatkov projekta Lasersko skeniranje Slovenije za arheološko interpretacijo. Ti podatki so bili večinoma zajeti z gostoto, ki je dva- do štirikrat nižja od priporočene za arheologijo. Zato smo razvili postopek optimizacije podatkov za arheološke interpretacije, ki se sestoji iz naslednjih korakov: primerjavo izbranih algoritmov za samodejno filtriranje georeferenciranega oblaka točk, postopek odstranjevanja nizkega šuma, dokumentiranje ročnega klasificiranja, primerjavo izbranih metod interpolacije in izbor najprimernejših metod vizualizacije. Na primeru arheološkega najdišča Ajdovščina nad Rodikom prikazemo rezultat tega postopka in hkrati predlagamo način dokumentiranja postopka. Zaključna ugotovitev prispevka je, da podatki so primerni za arheološko interpretacijo, v kolikor je izpejlan celoten opisani postopek – ali postopek s primerljivimi rezultati – optimizacije podatkov.

## KLJUČNE BESEDE

*lidarski podatki, arheologija, arheološka interpretacija, metoda*

## ABSTRACT

### **The Suitability of Laser Scanning of Slovenia Data for Archaeological Interpretation: Method and a Case Study**

The suitability of lidar data deriving from the Laser Scanning of Slovenia Project for archaeological interpretation is considered. The said data has been scanned at the half or one quarter of the density suggested for archaeological interpretation. To address this issue an optimization process is proposed. It is presented as follows: point cloud data filter selection, low noise detection algorithm, manual classification documentation, DEM interpolation method comparison and the selection of the most appropriate visualization method. This process is show cased on the Ajdovščina above Rodik example.

The final conclusion of the authors is that the data tested is suitable for archaeological interpretation provided that the described process – or a process with similar results – is carried out.

## KEY WORDS

*lidar data, archaeology, archaeological interpretation, method*

## 1 Uvod

Lasersko skeniranje oziroma lidarsko snemanje zemeljskega površja je ena najbolj natančnih tehnik za izdelavo digitalnih modelov višin. Izraz lidar je okrajšava za *Laser Imaging Detection and Ranging* oziroma *LIght Detection and Ranging*, torej svetlobno zaznavanje in merjenje razdalj. V arheologiji je prvo lidarsko snemanje vodil Stan Sever daljnega leta 1985 (Sheets in Sever 1988). Vendar takrat niti NASA ni razpolagala z dovolj zmogljivimi računalniki za obdelavo podatkov. Na prve poskuse uporabe lidarskih podatkov v arheologiji je bilo potrebno počakati do leta 2001 in še nekaj let na uporabne rezultate; tudi v slovenski arheologiji lidarske podatke v arheologiji uporabljamo že skorajda desetletje (Kokalj, Oštir in Zakšek 2008; pregled z literaturo v Štular 2011, 393–394 in 431–432).

V arheologiji na podlagi lidarskih podatkov opazujemo predvsem drobne spremembe površja, ki v določenih pogojih razkrivajo pokopano arheologijo. Za kakovostno arheološko interpretacijo običajno rabimo zelo gosto meritev: ob idealnih pogojih snemanja je minimalna priporočljiva gostota vzorčenja za arheološko interpretacijo vsaj 10 pulzov/m<sup>2</sup> (Mlekuž in Rutar 2013). Ker velika večina procesa arheološke interpretacije poteka ob delu z rastrskim digitalnim modelom reliefa (DMR) je izpovednejši podatek, da je optimalen izdelek DMR z osnovno celico velikosti 0,5 × 0,5 m, o čemer pričajo projekti uporabe laserskih skeniranj izvedenih namensko za arheologijo (npr. Kokalj, Oštir in Zakšek 2008; Doneus, Briese in Kùthreiber 2008; Mlekuž in Rutar 2013). Natančnejši DMR ne prinese bistveno boljšega arheološkega podatka (npr. Corns in Shaw 2013). Nasprotno pri manj natančnem DMR kakovost podatka hitro pada in DMR z osnovno celico 2 krat 2 m za klasično arheološko interpretacijo skorajda ni več primeren (npr. Štular 2011, 427–428).

Glede na zgoraj povedano torej kakovost podatkov, ki so rezultat projekta Lasersko skeniranje Slovenije (Triglav Čekada in Bric 2015), ni optimalna za arheološko interpretacijo: na veliki večini ozemlja je bila gostota zajema podatkov 5 pulzov/m<sup>2</sup>, ponujeni DMR1 pa ima osnovno celico 1 m. V pričujočem prispevku bomo prikazali postopek optimizacije podatkov za arheološko interpretacijo in praktičen primer uporabe.

## 2 Postopek optimizacije podatkov za arheološko interpretacijo

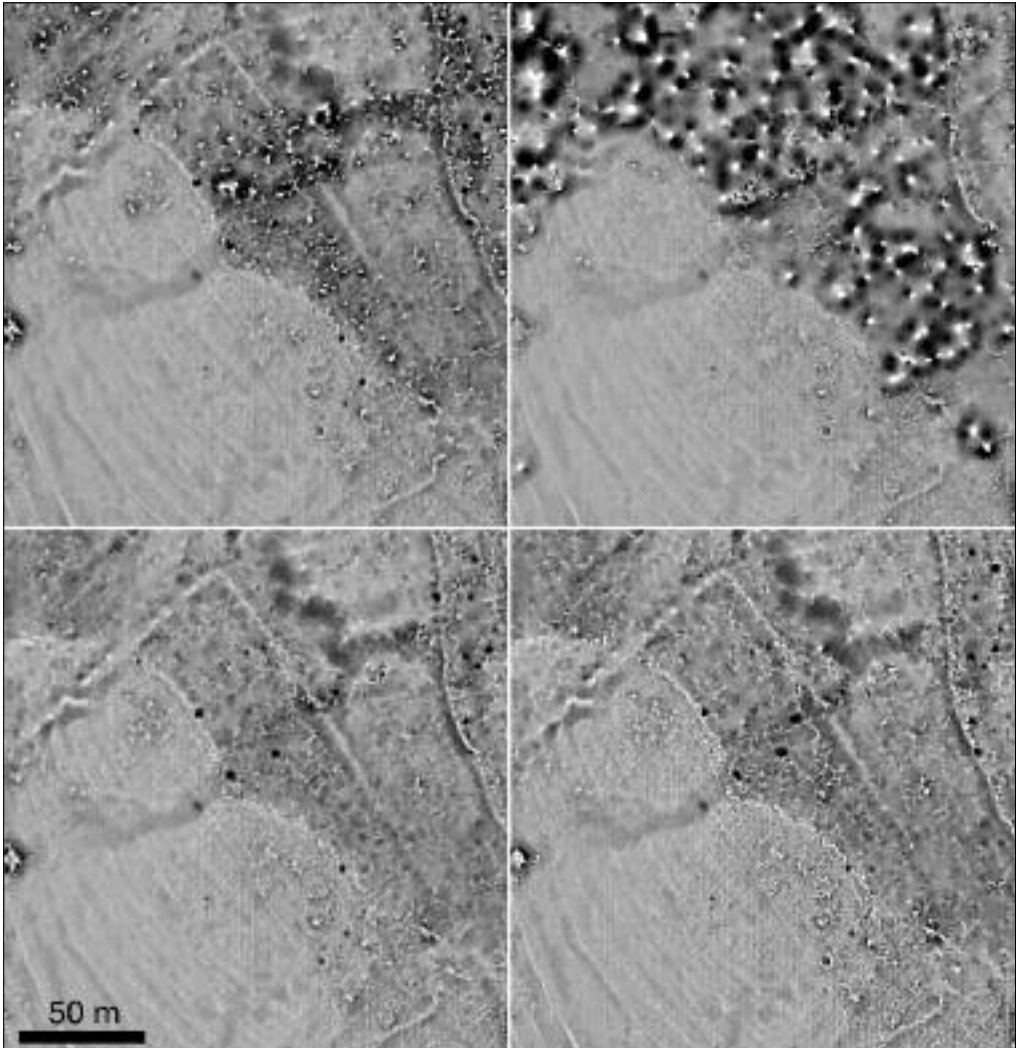
Velika prednost diseminacije rezultatov projekta Lasersko skeniranje Slovenije je, da je na enostaven in pregleden način prek spletnega vmesnika na portalu eVode ([http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas\\_voda\\_Lidar@Arso](http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso)) dostopen tudi georeferenciran in klasificiran oblak točk (GKOT).

Zakaj je to pomembno? Arheološki podatek je v lidarskih podatkih večinoma zakodiran v podrobnostih, ki za večino ostalih namenov pomenijo šum. Zato večina nenamenskih obdelav oblaka točk odstrani tudi del arheološkega podatka (Doneus s sodelavci 2008, 887–888; Opitz 2013, 20–23). V praksi to pomeni, da so osnovne nastavitve v postopku tako imenovanega samodejnega filtriranja preveč »agresivne« (npr. Mlekuž in Rutar 2013, 32–33). Za arheološko interpretacijo so primernejše nastavitve, ki sicer nekaj vegetacije napačno klasificirajo kot tla, a zato ne odstranijo posameznih arheoloških anomalij. Poleg tega se v praksi za arheološko interpretacijo vse bolj uveljavlja raba tako imenovanega skeleta tal (ang. *bone-mapping*), v katerem sta združena razreda tla in stavbe (Pingel, Clarke in Ford 2015). Za arheološko interpretacijo je torej zelo pomembno, da uporabnik podatke projekta Lasersko skeniranje Slovenije lahko ponovno obdela od stopnje oblaka točk do izdelave končnih namenskih vizualizacij DMR ali DMP.

V nadaljevanju bomo na kratko pokazali:

- primerjavo izbranih algoritmov za samodejno filtriranje georeferenciranega oblaka točk,
- postopek odstranjevanja nizkega šuma,
- dokumentiranje ročnega klasificiranja,
- primerjavo izbranih metod interpolacije in
- izbor najprimernejših metod vizualizacije.

Predvsem v prvem desetletju tega stoletja je bilo razvitih mnogo različnih algoritmov za **samodejno filtriranje lidarskih podatkov** v obliki georeferenciranega oblaka točk. Statistične analize kažejo (Meng, Currit in Zhao 2010), da je še vedno najboljši tako imenovani Axelssonov algoritem (Axelsson 2000) oziroma dopolnjeni različici le-tega, kakršne so implementirane v programih TerraScan in LAStools. Vendar sta za uporabo algoritmov v praksi zelo pomembna še vsaj dva dejavnika: kakovost implementacije algoritma v programsko opremo in seveda dostopnost programske opreme. Tako smo v našem preizkusu z rezultati algoritma gLIDAR, s katerim je bil izdelan podatkovni sloj GKOT



Slika 1: Primerjava rezultatov samodejnega filtriranja z algoritmi (zgoraj) gLIDAR, Streutker in Glenn, (spodaj) MCC-LIDAR in Axelsson. Vsi DMR-ji so bili interpolirani na isti način (glej poglavje 3); vizualizacija odprtost, 32 strani, radij 10 celic, nizko odstranjevanje šuma (kartografa: B. Štular, E. Lozić; avtorja: B. Štular, E. Lozić; © avtorja; vir podatkov: [http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas\\_voda\\_Lidar@Arso](http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso), GKOT D48GK 442\_53).

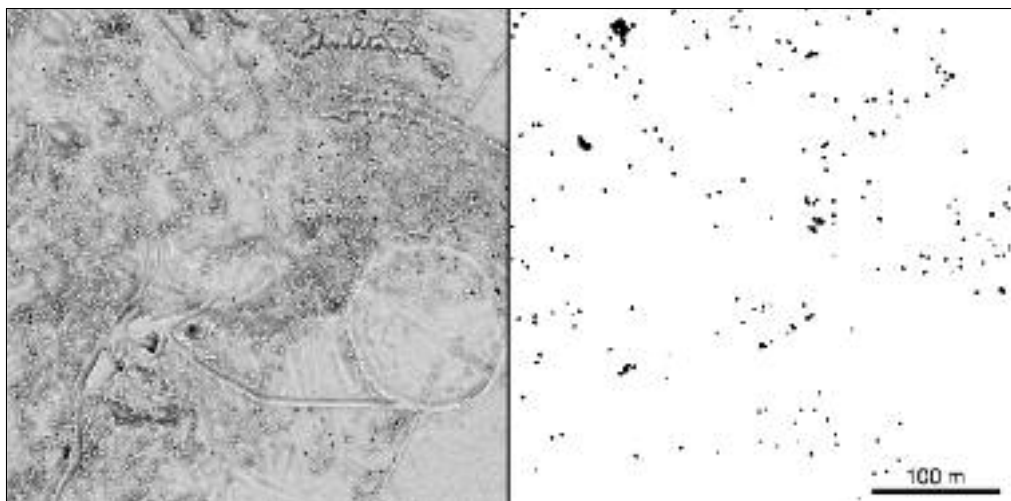


(Mongus in Horvat 2015), lahko primerjali naslednje algoritme: Streutker in Glenn (2006), MCC-LIDAR (Evans in Hudak 2007) in Axelsson (2000).

Gre zgolj za preliminarno primerjavo, ki temelji na ekspertni vizualni primerjavi v kombinaciji s količino talnih točk. Rezultat je pokazal, da algoritem Streutker in Glenn implementiran v programu BCAL LiDAR Tools ni primeren za naše podatke. Rezultat je pričakovan, saj je bil algoritem razvit za odprte savane. Pomembnejši je podatek, da sta preostala algoritma v našem preizkusu dala opazno boljši rezultat kot algoritem gLIDAR. Izbira med slednjima je odvisna od namena. Implementacija algoritma MCC-LIDAR v istoimenskem odprtokodnem programu je več kot desetkrat počasnejša, implementacija Axelssonovega algoritma v programu lasground pa je plačljiva oziroma ima omejeno licenco (slika 1).

Vendar nobeden izmed zgornjih algoritmov ni bil uspešen pri **odstranjevanju točk nizkega šuma**. V naših podatkih so te točke približno 1 m pod dejanskim površjem in so pogostejše na območjih z gosto vegetacijo. V datotekah GKOT so najpogostejše klasificirane kot tla, le izjemoma kot nizek šum. Te točke so posledica napak merilnega instrumenta (npr. Opitz 2013, 19), do katerih pride najverjetneje zaradi sprememb vlažnosti ozračja. So dovolj pogost pojav pri vseh meritvah, da imajo v standardni klasifikaciji datoteke LAS lastno oznako, št. 7 (LAS specification 2013).

Ker so najnižje točke uporabljene v procesu inicializacije pri vseh primerjanih algoritmih (npr. Axelsson 2000, 111–112; Streutker in Glenn 2006, 138; Evans in Hudak 2007, 1031–1032; Mongus 2012, 50–52), povzročajo neklasificirane točke nizkega šuma večje napake pri klasificiranju bližnjih točk. V enem dokumentiranem primeru so te točke, ko so bile napačno klasificirane kot talne, vplivale lokalno celo na 6 % celotne površine (slika 2). Zato smo razvili naslednji postopek. V prvem koraku izdelamo začasni DMR z osnovno celico 2 m, ki ga interpoliramo z modulom lascanopy programskega paketa LAStools iz 25 centila (ang. *percentile*) talnih točk datoteke GKOT. V drugem koraku točke, ki so več kot 0,5 m nižje od začasnega DMR, označimo kot točke nizkega šuma. V zadnjem koraku samodejno filtriramo oblak točk brez točk nizkega šuma z modulom lasground programskega paketa LAStools, ki uporablja dopolnjeno različico Axelssonovega algoritma (slika 3). Običajno tako odstranimo do 80 odstotkov točk nizkega šuma, s spreminjanjem parametrov pa lahko lokalno dosežemo tudi boljši rezultat.



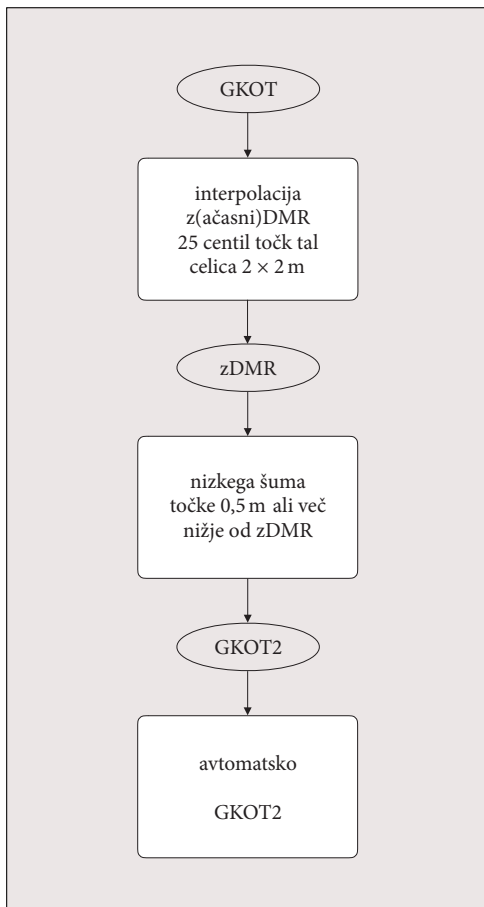
Slika 2: Arheološko najdišče Obropa pri Knežaku z okolico, primer območja z visokim deležem nizkega šuma; levo DMR izdelan iz datoteke GKOT (vizualizacija odprtost, 32 strani, radij 10 celic, nizko odstranjevanje šuma), desno binarni zemljevid sprememb po ročnem čiščenju nizkega šuma kartografa: B. Štular, E. Lozić; avtorja: B. Štular, E. Lozić; © avtorja; vir podatkov: [http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas\\_voda\\_Lidar@Arso](http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso), GKOT D48GK 442\_53).

Celoten postopek samodejnega filtriranja je pri uporabi rezultatov v raziskovalne namene potrebno dokumentirati. Ker so ti postopki ponovljivi zadostuje, da navedemo uporabljeno programsko opremo in uporabljene parametre.

Uspešno samodejno filtriranje pravilno razporedi, po nekaterih ocenah, 85 do 90 odstotkov točk. Preostanek je potrebno **klasificirati ročno**. Gre za časovno zelo zahteven postopek, ki se ga v arheologiji poslužujemo kadar je predmet raziskave na primer posamezno najdišče.

Tak poizkus smo izvedli za najdišče Nadleški hrib. Na nekaterih mestih zgolj z vizualno analizo oblaka točk ni bilo možno ločiti talnih točk od vegetacije. Ta mesta smo si ogledali na kraju samem. Cel proces je trajal približno 6 človek/dni, kar je še vedno pol manj kot izdelava primerljivega izdelka z uporabo laserskega tahimetra in dGPS naprave, ki je bila na najdišču opravljena predhodno.

Za razliko od samodejnega filtriranja je postopek ročne klasifikacije oblaka točk sestavljen iz množice subjektivnih mikro odločitev operaterja. Kadar rezultat uporabimo v znanstvenem procesu, kakršen je arheološka intepretacija, je posege, ki temeljijo na subjektivnih odločitvah, potrebno dokumentirati. V ta namen predlagamo uporabo zemljevida sprememb, ki prikazuje spremembe nastale zaradi ročnega klasificiranja. DMR izdelan z ročno klasifikacijo odštejemo od DMR, ki je nastal z samodejnim filtriranjem. Izdelamo binarni zemljevid sprememb, ki jasno dokumentira površine, na katere smo vplivali z ročnim klasificiranjem (slika 2).



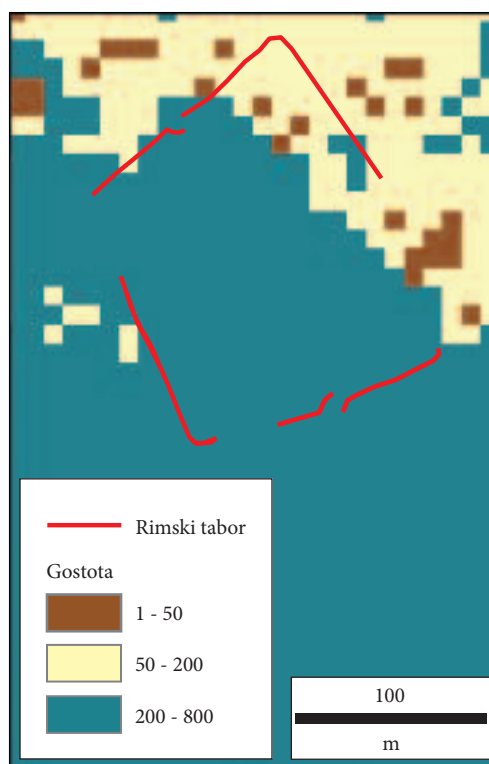
Slika 3: Postopkovni diagram odstranjevanja nizkega šuma (avtorja: B. Štular, E. Lozić; © avtorja).

Pri pretvorbi oblakov točk lidarskih meritev v rastrske digitalne modele uporaba zahtevnejših **interpolacij** ni običajna. Najpogosteje je priporočena običajna triangulacija (TIN) ali katera izmed manj zahtevnih interpolacij. Razloga sta dva. Zaradi velike gostote meritev naj na eni strani zahtevne interpolacije ne bi prinesle dodane vrednosti v končnem izdelku, na drugi strani pa so zato zahtevnejše interpolacije procesorsko zelo zahtevne (Opitz 2013, 24).

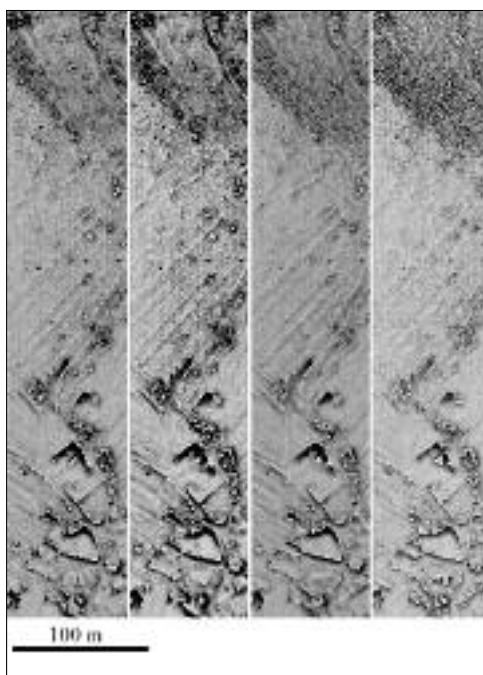
Vendar slednje ne drži v našem primeru, saj smo že opozorili, da gostota talnih točk komajda zadostuje za arheološko interpretacijo. Dodaten problem je v praksi zelo pogost primer, ko zaradi stanja vegetacijskega pokrova gostota talnih meritev močno niha (slika 4). Če želimo iz podatkov izvleči celoten potencial, nam preostaneta le dve rešitvi:

- za vsako analizirano površino izdelati več različnih DMR (npr. za odprte površine DMR z osnovno celico 0,5 krat 0,5 m, za površine s šibko vegetacijo DMR z osnovno celico 1 krat 1 m in za površine z gosto vegetacijo DMR z osnovno celico 2 krat 2 m) ali
- izdelati en DMR z osnovno celico prilagojeno površini z najboljšim podatkom (npr. kjer so prisotne tudi odprte površine, DMR z osnovno celico 0,5 krat 0,5 m).

Prva rešitev ni praktična, saj bi se arheološka interpretacija, ki je časovno najzahtevnejši del procesa, s tem še podaljšala. Z izbiro prve rešitve pa pridemo v položaj, ko je treba izdelati čim boljši DMR



Slika 4: Gostota točk, klasificiranih kot tla. Arheološko najdišče Nadleški hrib (kartografa: B. Štular, E. Lozić; avtorja: B. Štular, E. Lozić; © avtorja; vir podatkov: [http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas\\_voda\\_Lidar@Arso, GKOT D48GK 458\\_62](http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso, GKOT D48GK 458_62)).



Slika 5: Primerjava interpolacij točk, klasificiranih kot tla (od leve): TIN, običajni kriging, IDW, najbližji sosed. Vizualizacija odprtosti, 32 strani, radij 10 celic, nizko odstranjevanje šuma. Arheološko najdišče Nadleški hrib (kartografa: B. Štular, E. Lozić; avtorja: B. Štular, E. Lozić; © avtorja; vir podatkov: [http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas\\_voda\\_Lidar@Arso, GKOT D48GK 458\\_62](http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso, GKOT D48GK 458_62)).

z mrežo, ki je (na nekaterih delih) gostejša od meritev. V takšnih primerih statistične analize kažejo, da je najuspešnejša metoda interpolacije kriging (Chaplot s sodelavci 2006). To smo na naših podatkih potrdili z ekspertno vizualno analizo (slika 5).

**Vizualizacija** DMR iz lidarskih podatkov je bila pred nekaj leti predmet intenzivnih raziskav v arheologiji (pregled z navedeno literaturo v Kokalj, Zakšek in Oštir 2013). Rezultate primerjalne analize lahko strnemo takole. Idealna vizualizacija za arheološko interpretacijo DMR izdelanega iz lidarskih podatkov ne obstaja. Priporočljiva je uporaba različnih vizualizacij, med katerimi velja nekatere izpostaviti. Analitično senčenje je najprimernejše za diseminacijo nestrokovnim javnostim. Delež vidnega neba je najprimernejša med vizualizacijami, ki podajajo občutek tretje dimenzije. Odprtost najostreje kaže arheološke znake, ki se kažejo kot drobne anomalije. V primerih, ko lahko opazujemo le eno sliko (na primer pri objavah v tiskanih medijih) so najprimernejše hibridne vizualizacije. Gre za časovno zahteven postopek, v katerem na podlagi subjektivnih odločitev združimo več različnih vizualizacij z namenom izpostaviti opazovane lastnosti (slika 6).

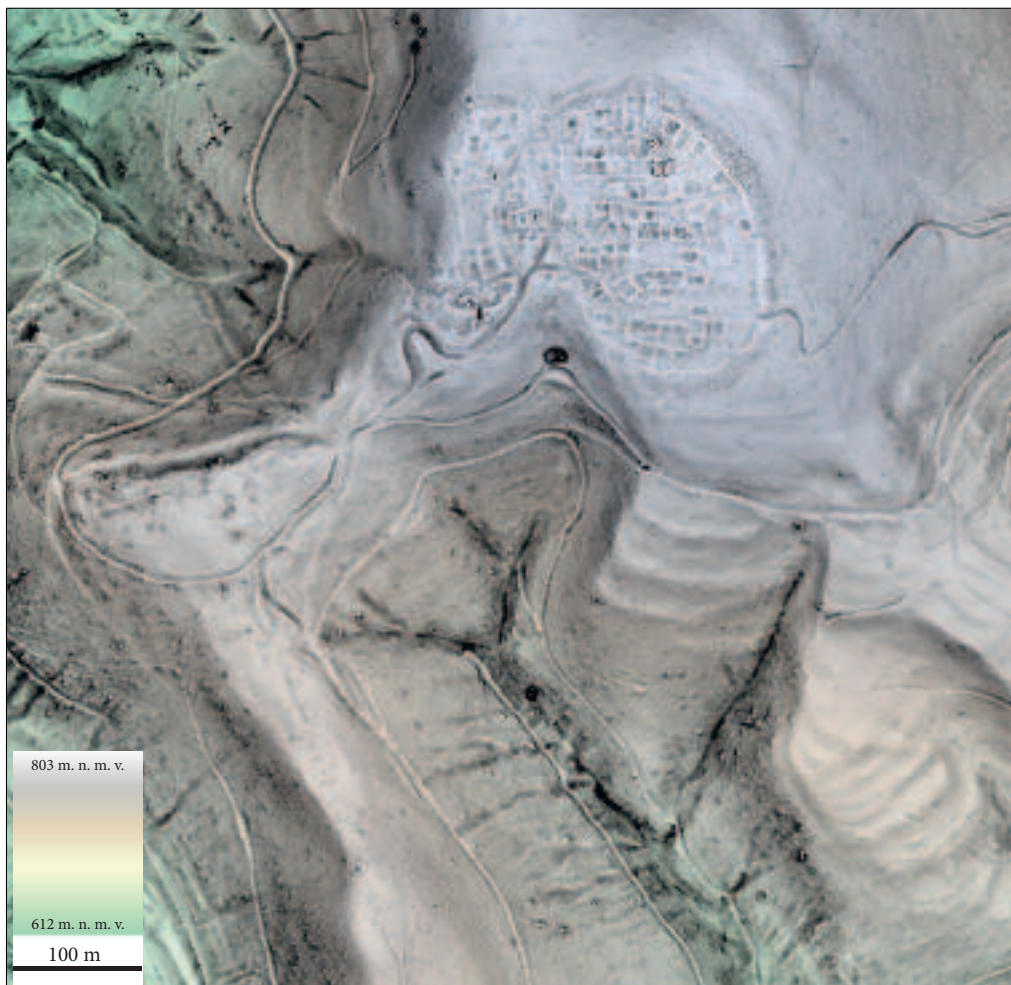
### 3 Praktični primer: Ajdovščina nad Rodikom

Arheološko najdišče Ajdovščina nad Rodikom je moderna arheologija odkrila v 19. stoletju. V zadnji četrtini 20. stoletja so tam potekale intenzivne arheološke raziskave, ki pa so žal večidel ostajajo neobjavljene. Rezultate raziskav je Božidar Slapšak (1997) strnil takole: Rodik je prevzel vlogo mikro-regionalnega centra v železni dobi. Rimskodobna skupnost Rundiktov nasledi in nadaljuje takšno stanje.

V 4. stoletju n. št., po več stoletnem hiatusu, je bilo znotraj prazgodovinskega nasipa po strogem urbanističnem redu zgrajeno industrijsko mesto. S stališča lidarskih podatkov je najdišče zanimivo zaradi DMR-ja, ki je bil izdelan na podlagi približno 44.000 meritev z analognim tahimetrom, ki so jih izvedli v približno 220-tih delovnih dnevih sredi 1990-tih let (Mušič 1999, slika 4).

Za analizo najdišča Rodiška Ajdovščina smo obdelali datoteko GKOT D48GK 421\_53. Datoteko smo filtrirali s programom lasground z naslednjimi nastavitvami: je zračni lidar, tip terena hribi in gozdovi, granulacija ultra fina, ignoriraj točke s klasifikacijo nizki šum. Na območju arheološkega najdišča težav z nizkim šumom ni bilo, zato ni bilo potrebno posebno obdelava (npr. poglavje 3). Z ročno klasificiranjem smo spremenili 273 m<sup>2</sup> končne površine. Klasificiran oblak točk smo interpolirali z algoritmom običajni kriging z naslednjimi nastavitvami: 4 iskalni sektorji, upoštevano največ 64 točk iz vseh iskalnih sektorjev, potrebnih vsaj 8 točk iz vseh iskalnih sektorjev, upoštevano največ 16 točk iz vsakega iskalnega sektorja, ni podatka le so prazni 3 sektorji, radij 20 m. Iz dobljenega DMR0,5 smo s programom Relief Visualization Toolbox (<http://iaps.zrc-sazu.si/en/rvt>) izdelali vizualizaciji delež vidnega neba (32 smeri, radij 10 celic, nizko odstranjevanje šuma) in odprtost (32 smeri, radij 10 celic, nizko odstranjevanje šuma) ter s programom WhiteboxGIS še barvno lestvico (brez raztegovanja od 580 do 803 m. n. m. v., privzeta barvna lestvica). Iz teh smo izdelali hibridno vizualizacijo z uporabo naslednjih nastavitvev: delež vidnega neba (30 % prosojnost, množenje, negativno maskiranje z višinami), odprtost (40 % prosojnosti, množenje, pozitivno maskiranje z višinami), barvna lestvica (50 % prosojnost, množenje).

Rezultat je vizualizacija (slika 6), ki jasno prikazuje tloris stavb poznoantične naselbine in starejšega, železnodobnega obzidja. DMR0,5 smo vizualizirali z metodo odprtost in ga primerjali z na isti način vizualiziranim DMR1 ter s podobo analitičnega senčenja DMR1 (PAS). Glede primernosti posameznega izdelka za arheološko interpretacijo je izpovedna primerjava podrobnosti apsida stavbe v zasutem arheološkem izkopnem polju (slika 7: a), parcelne meje v obliki kamnitega zidu (slika 7: b) in (verjetno poznoantičnega) prehoda skozi obzidje (slika 7: c). Opisane podrobnosti na izdelku PAS niso prepoznavne, na namensko vizualiziranem DMR1 je delno prepoznavno le eno izmed opazovanih mest (slika 7: b). Na DMR0,5 so opazovane podrobnosti, ki so ključne za arheološko interpretacijo, jasno prepoznavne.

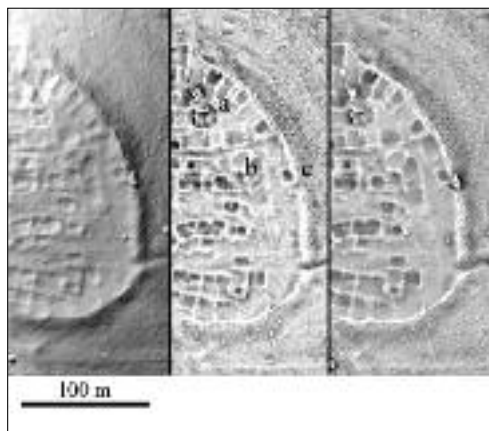


Slika 6: Ajdoščina nad Rodikom, hibridna vizualizacija (kartografa B. Štular, E. Lozić; © avtorja; vir podatkov: [http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas\\_voda\\_Lidar@Arso](http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso), GKOT D48GK 421\_53).

## 4 Sklep

V prispevku smo pokazali postopek, ki je nujen za arheološko interpretacijo podatkov projekta Lasersko skeniranje Slovenije. Izbrani primer arheološkega najdišča Rodiška Ajdoščina je dokaz, da podatki so primerni za arheološko interpretacijo. Vendar je potrebno poudariti, da smo prikazali le en primer, ki smo ga izbrali zaradi visoke kakovosti podatka. Pri nekaterih drugih arheoloških najdiščih, na primer grad Smlednik in Brecljev hrib na Gorenjskem, smo opazili občutno slabšo kakovost podatka.

S prispevkom smo želeli opozoriti predvsem na dvoje. Za kakovostno arheološko interpretacijo, ki je lahko izhodišče odločitvam o nadaljnjem ohranjanju in varovanju arheološke dediščine, je treba izpeljati celoten zgoraj opisani (ali primerljivi) postopek optimizacije podatkov. Postopek mora biti tudi pravilno dokumentiran, na primer po zgledu na tem mestu predstavljenega najdišča Ajdoščina nad Rodikom.



Slika 7: Ajdoščina nad Rodikom, levo vizualizacija PAS, v sredini obdelani podatki DMR0,5 (vizualizacija odprtost, 32 strani) in desno DMR1 (vizualizacija odprtost, 32 strani; kartografa: B. Štular, E. Lozić; avtorja: B. Štular, E. Lozić; © avtorja; vir podatkov: [http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas\\_voda\\_Lidar@Arso](http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso), GKOT D48GK 421\_53).

## 5 Zahvala

Avtorja se zahvalujeta anonimnemu recenzentu za nasvete in popravke, ki so v mnogočem izboljšali prispevek.

## 6 Viri in literatura

- Axelsson, P. 2000: DEM generation from laser scanner data using adaptive tin models. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 33(B4).
- Chaplot, V., Darboux, F., H., Bourennane, S., Leguédou, N., Silvera, Phachomphon, K. 2006: Accuracy of interpolation techniques for the derivation of digital elevation models in relation to landform types and data density. *Geomorphology* 77. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.12.010>
- Corns, A., Shaw, R. 2013: Lidar and World Heritage Sites in Ireland: why was such a rich data source gathered, how is it being utilised, and what lessons have been learned? *Interpreting archaeological topography airborne laser scanning, 3d data and ground observation*. Oxford, Oakville.
- Doneus, M., Briese, C., Fera, M., Janner, M. 2008: Archaeological prospection of forested areas using full-waveform airborne laser scanning. *Journal of Archaeological Science* 35. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2007.06.013>
- Doneus, M., Briese, C., Küthreiber, T. 2008: Flugzeuggerragenes Laserscanning als Werkzeug der archäologischen Kulturlandschaftsforschung. Das Fallbeispiel, Wüste« bei Mannersdorf am Leithagebirge, Niederösterreich. *Archäologisches Korrespondenzblatt* 38-1.
- Evans, J. S., Hudak, A. T. 2007: A multiscale curvature algorithm for classifying discrete return LiDAR in forested environments. *Geoscience and Remote Sensing* 45-4. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TGRS.2006.890412>
- Kokalj, Ž., Oštir, K., Zakšek, K. 2008: Uporaba laserskega skeniranja za opazovanje preteklih pokrajin – primer okolice Kobarida. *GIS v Sloveniji* 9. Ljubljana.
- Kokalj, Ž., Oštir, K., Zakšek, K. 2013: Visualizations of lidar derived relief models. *Interpreting archaeological topography airborne laser scanning, 3d data and ground observation*. Oxford, Oakville.
- LAS specification, version 1.4 – R13 15 July 2013. Medmrežje: [http://www.asprs.org/a/society/committees/standards/LAS\\_1\\_4\\_r13.pdf](http://www.asprs.org/a/society/committees/standards/LAS_1_4_r13.pdf) (30. 1. 2016).

- Meng, X., Currit, N., Zhao, K. 2010: Ground Filtering Algorithms for Airborne LiDAR Data: A Review of Critical Issues. *Remote Sensing* 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/rs2030833>
- Mlekuž, D., Rutar, G. 2013: Koliko točk? Gostota lidarskih snemanj za arheološke prospekcije. *Arheo* 30.
- Mongus, D. 2012: Brezparametrični algoritem gradnje digitalnega modela reliefa iz podatkov lidar. Doktorska disertacija, Fakulteta elektrotehnike, računalništvo in informatiko Univerze v Mariboru. Maribor.
- Mongus, D., Horvat, D. 2015: gLidar: napredno orodje za obdelavo lidarskih podatkov. *Geodetski vestnik* 59-1.
- Mušič, B. 1999: Geophysical prospecting in Slovenia: an overview with some observations related to the natural environment. *Arheološki vestnik* 50.
- Opitz, R. S. 2013: An overview of airborne and terrestrial laser scanning in archaeology. Interpreting archaeological topography airborne laser scanning, 3d data and ground observation. Oxford, Oakville.
- Pingel, T. J., Clarke, K., Ford, A. 2015: Bonemapping: a LiDAR processing and visualization technique in support of archaeology under the canopy. *Cartography and Geographic Information Science* 42-S1. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/15230406.2015.1059171>
- Sheets, P., Sever, T. 1988: High-tech Wizardry. *Archaeology* 41-6.
- Slapšak, B. 1997: Starejša zgodovina Rodika. Rodik med Brkini in Krasom. Rodik.
- Streutker, D., Glenn, N. 2006: LiDAR measurement of sagebrush steppe vegetation heights. *Remote Sensing of Environment* 102. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2006.02.011>
- Štular, B. 2011: The use of lidar-derived relief models in archaeological topography. The Kobarid region (Slovenia) case study. *Arheološki vestnik* 62.
- Štular, B., Kokalj, Ž., Oštir, K., Nuninger, L. 2012: Visualization of lidar-derived relief models for detection of archaeological features. *Journal of Archaeological Science* 39-11. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2012.05.029>
- Triglav Čekada, M., Bric, V. 2015: Končan je projekt laserskega skeniranja Slovenije. *Geodetski vestnik* 59-3.

# LASERSKO SKENIRANJE KOT VIR PODATKOV O VSEH STAVBAH V SLOVENIJI

**dr. Mihaela Triglav Čekada, Nika Mesner, Blaž Barborič**

Geodetski inštitut Slovenije

mihaela.triglav@gis.si, nika.mesner@gis.si, blaz.barboric@gis.si

UDK: 528.8.044.6:528.482(497.4)

## IZVLEČEK

### **Lasersko skeniranje kot vir podatkov za določitev vseh stavb v Sloveniji**

Topografski podatki o stavbah v Sloveniji, ki se vodijo v državnih evidencah, niso na voljo za celotno državno ozemlje (državna topografska karta – DTK 5) ali ne vsebujejo podatkov o vseh stavbah (kataster stavb). Izdelek laserskega skeniranja Slovenije, oblak točk klasifikacijskega razreda stavbe, predstavlja alternativo, prostodostopni vir podatkov o stavbah na območju Slovenije. Izvornega izdelka ni mogoče uporabiti neposredno v geografskih informacijskih sistemih, zato smo s popolnoma samodejno metodo izdelali vektorski sloj obrisov stavb. Na podlagi fotointerpretacije je bila ocenjena kakovost klasifikacije stavb (pravilnost in popolnost), naknadno smo jo ocenili še na podlagi katastra stavb. Na primeru preučevanja poselitvenega sistema Slovenija je podana ocena o možnosti uporabe teh podatkov v geografskih analizah.

## KLJUČNE BESEDE

lasersko skeniranje, obrisi stavb, natančnost klasifikacije, poselitveni vzorci

## ABSTRACT

### **Laser scanning as a data source of all buildings in Slovenia**

Topographic data representing buildings in Slovenia are kept in national registers, which are not available for the entire national territory (National topographic map), or do not contain data on all buildings (Building cadastre). Classified point cloud of laser scanning of Slovenia represents also buildings stored in separate classification class. It presents an alternative and a free source of building data for Slovenia. Point cloud data cannot be used directly in geographic information systems, therefore a vector layer of buildings was extracted from it based on a fully automated method. The quality of building classification is analyzed by photointerpretation, additionally also by comparison with Building cadastre. A case study of the Slovenian settlement system is presented, which gives an example for assessing the potential use of these data in different geographical analysis.

## KEY WORDS

laser scanning, building delineation, classification accuracy, settlement patterns



## 1 Uvod

Topografski podatki o stavbah so osnova za izvedbo različnih geografskih analiz kot je na primer ocena strnjenosti pozidanih površin (Drobne s sodelavci 2014), proučevanje poselitvenega sistema (Fridl s sodelavci 1998, Premzl s sodelavci 1999), izračun kazalnikov za oceno prostorskega razvoja Slovenije (Miklavčič s sodelavci 2015). Podatki o obrisih stavb v Sloveniji se vodijo kot topografski podatek merila 1 : 5000 (DTK 5) in kot katastrski podatek v katastru stavb. DTK 5 se je pričel vzpostavljati leta 2002 in po zadnjih podatkih (Geodetska uprava RS 2015) je s podatki prekrita približno 65 % državnega ozemlja. Kataster stavb je bil vzpostavljen v letih 2002–2004 (Grilc s sodelavci 2003) in takrat so bili določeni obrisi vseh stavb v Sloveniji z metodo stereorestitucije aeroposnetkov. Kljub sistematičnemu vzdrževanju katastra stavb ostaja del dejanskih stavb neevidentiranih, del porušenih stavb pa ni izbrisan iz evidence. Okrog 10 % novih stavb naj bi bilo neevidentiranih. Poleg tega pa se manjši delež stavb vodi samo z lokacijo v prostoru (centroid) in brez obrisa stavbe (Geodetski inštitut Slovenije 2015). Uporaba obstoječih topografskih podatkov o stavbah je lahko zato omejena: podatki DTK 5, ker niso na voljo za celotno državno ozemlje in obrisi stavb iz katastra stavb zaradi nižje popolnosti podatkov. Klasificirani podatki laserskega skeniranja Slovenije posneti med 2014 in 2015 predstavljajo izvrstno priložnost za identifikacijo dejanskih stavb in izdelavo presečnega stanja vseh stavb v Sloveniji.

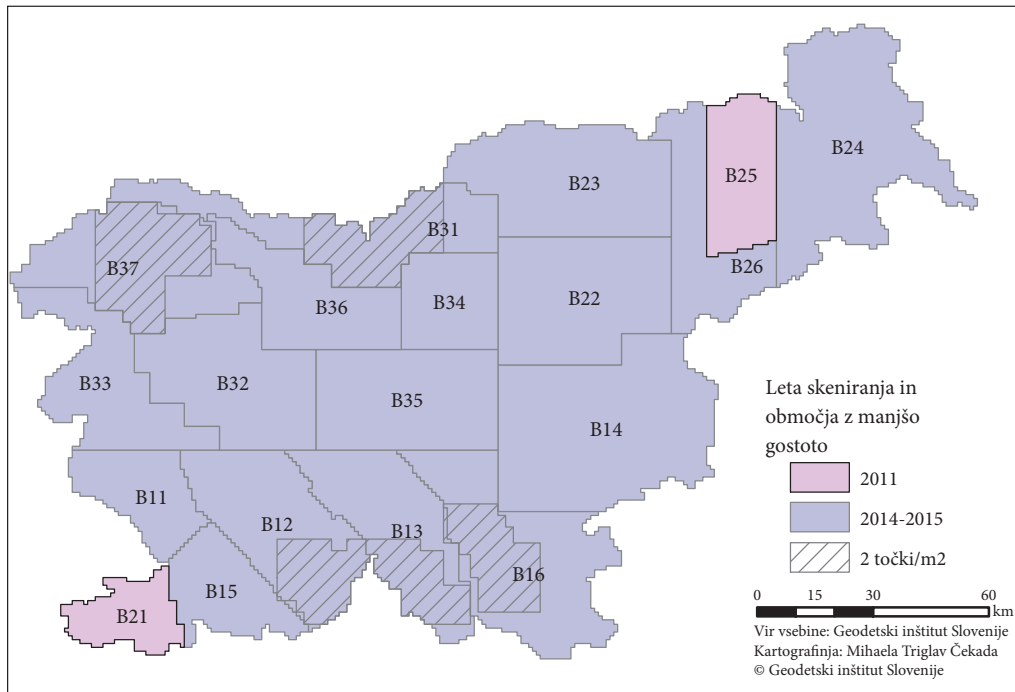
Podatki laserskega skeniranja so na voljo kot oblak točk in jih ne moremo uporabiti neposredno v geografskih informacijskih sistemih. V prispevku je predstavljena samodejna izdelava obrisov stavb v vektorski obliki na podlagi klasificiranega oblaka točk (GKOT), kjer so stavbe zapisane v svojem klasifikacijskem razredu. Ocena kakovosti podatkov o stavbah je podana na podlagi ocene kakovosti izdelka GKOT in primerjave izdelanega sloja stavb z obrisom stavb iz katastra stavb. Na podlagi ocene kakovosti in praktičnega primera proučevanja poselitvenega sistema Slovenije je ocenjena možnost uporabe obrisov stavb, ki so določeni samodejno in temeljijo izključno na podatkih laserskega skeniranja, za potrebe geografskih analiz.

## 2 Podatki

Podatki laserskega skeniranja Slovenije so razdeljeni na 19 blokov (slika 1). Od teh sta bila bloka B25 in B21 posneta že v letu 2011. Preostalih 17 blokov je bilo posnetih med 14. 2. 2014 in 2. 4. 2015. Posamezen blok je bil posnet v razponu nekaj do največ enajst mesecev. Za dolga obdobja snemanj posameznega bloka je lahko več razlogov: od slabih vremenskih razmer, odstranjevanja grobih napak s ponovnim snemanjem, do spreminjanja mej blokov zaradi dinamike oddajanj. Posneto je celotno ozemlje Slovenije z dodanim 250-metrskim čezmejnim pasom. Tako je skupaj posnetih 21.268 km<sup>2</sup>, kar znese povprečno okoli 1100 km<sup>2</sup> na posamezen blok. Predvidene gostote snemanj za prve odboje so bile 5 točk/m<sup>2</sup> za večino Slovenije ter 2 točki/m<sup>2</sup> za območja večjih gozdov in visokogorje. V celotni Sloveniji je bilo skupno posnetih 237 milijard točk ali povprečno 11 milijonov točk na datoteko oziroma 11,2 točk/m<sup>2</sup>. Če ne upoštevamo blokov, kjer je bila predvidena gostota snemanja manjša, dobimo povprečno gostoto točk 12,9 točk/m<sup>2</sup>.

Lasersko skeniranje 2014–2015 je izvedel izvajalec FlyCom, d. o. o. Na Geodetskem inštitutu Slovenije smo s programsko opremo, razvito na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Univerze v Mariboru, izdelali naslednje izdelke (slika 2):

- georeferenciran in klasificiran oblak točk (GKOT), kjer so točke klasificirane v šest razredov: tla, nizka (do 1 m višine), srednja (med 1 m in 3 m) in visoka vegetacija (nad 3 m višine), stavbe ter neklasificirane točke, shranjen je v formatu LAS,
- oblak točk reliefa (OTR) – samo točke tal, zapisan je v formatu LAS,
- digitalni model reliefa 1 m krat 1 m (DMR1), zapisan je v formatu ASCII,
- podoba analitičnega senčenja DMR1 (PAS) za območja velikosti 5 km krat 5 km, zapisana je v rastrskem geolociranem formatu TIF.



Slika 1: Bloki laserskega skeniranja Slovenije.

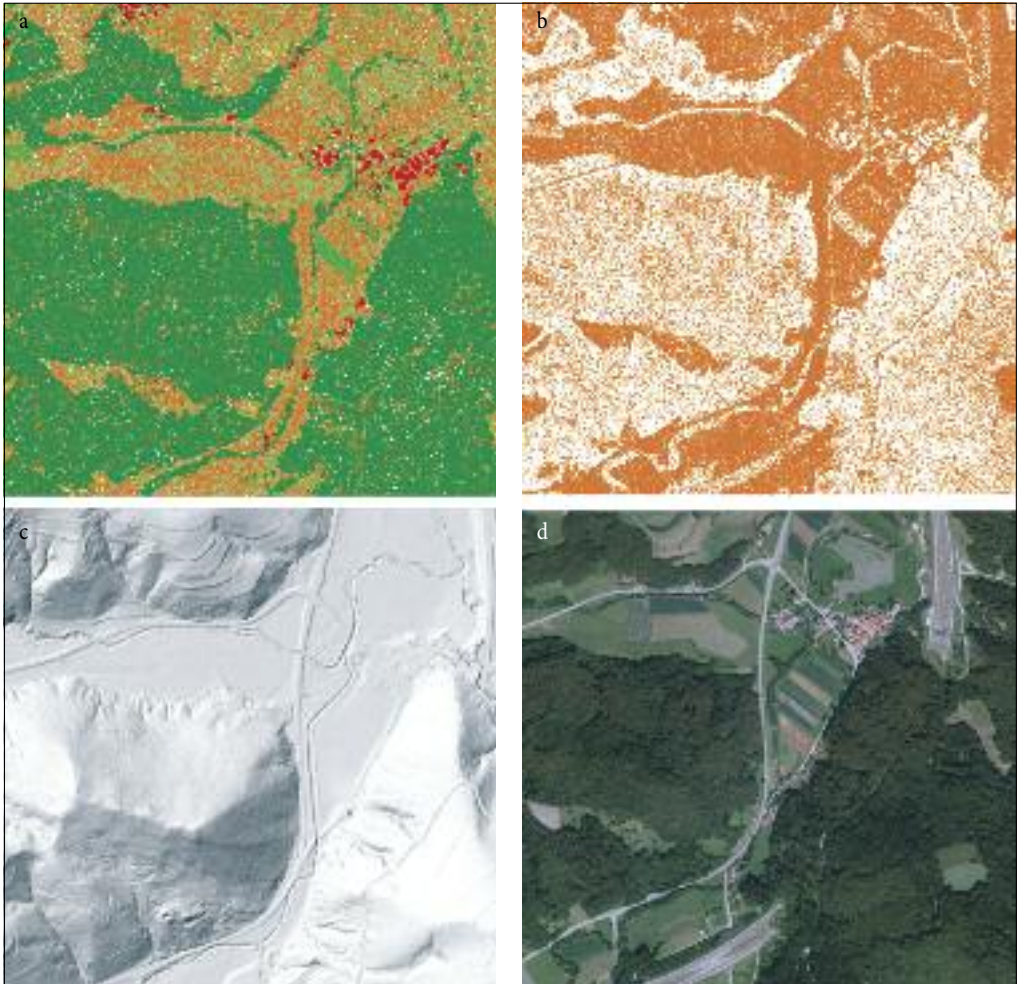
Izdelki so shranjeni v dveh ravninskih koordinatnih sistemih D48/GK in D96/TM ter nadmorskih višinah. S kontrolami potrjena položajna točnost izdelkov je 30 cm (RMSE) in višinska 15 cm (RMSE). Podatki so brezplačno na voljo na spletni strani Agencije Republike Slovenije za okolje v okviru spletnega portala eVode (Grilj s sodelavci 2015). Podroben opis izdelkov in kontrole le-teh so v Triglav Čekada in Bric (2015). V tem prispevku se bomo podrobno posvetili le izdelku GKOT, v katerem so tudi samodejno klasificirane stavbe. Samodejna klasifikacija stavb se je izvajala s programom gLidar (Mongus in Horvat 2015), kjer se je kot stavbe klasificiralo vse objekte višje od 1 m in z zadostnim številom točk na posameznih ravninah streh. Med stavbe so klasificirane tudi ruševine, katerih zidovi so višji od 1 m in na katerih so ostale ravne površine, ki jih je algoritem geometrijsko prepoznal kot strehe.

### 3 Metode dela

Kakovost podatkov o stavbah je ocenjena na podlagi primerjave podatkov o stavbah v izdelku GKOT in dejanskih stavb v naravi kot jih lahko prepoznamo iz ortofotov. Ocena kakovosti temelji na fotointerpretaciji ortofotov na 5 % datotek posameznega snemalnega bloka. Med vzorec datotek za kontrolo so bile izbrane datoteke, na katerih so bila enakomerno zastopana območja stavb, visoke vegetacije in preostali klasifikacijski razredi.

Na podlagi fotointerpretacije ortofota smo določili:

- število dejanskih stavb, katerih obris presega 16 m<sup>2</sup> (DS),
- število pravilno klasificiranih stavb v izdelku GKOT (PKS) ter
- število lažno klasificiranih stavb v izdelku GKOT (LKS).



Slika 2: Izdelki LSS za območje velikosti 1 km<sup>2</sup>. a) GKOT: rdeče stavbe, oranžno tla, tri zelene barve – trije tipi vegetacije, b) OTR, c) PAS iz DMR1 ter d) ortofoto iz Cikličnega aerofotografiranja Slovenije.

Kakovost podatkov o stavbah je opredeljena s pravilnostjo in popolnostjo klasifikacije, kjer je popolnost določena kot razmerje med številom pravilno klasificiranih stavb v GKOT in dejanskim številom stavb v naravi. Pravilnost je določena kot razmerje med številom pravilno klasificiranih stavb in številom vseh stavb v izdelku GKOT.

$$\text{Popolnost} = \frac{PKS}{DS}$$

$$\text{Pravilnost} = \frac{PKS}{PKS + LKS}$$

Popolnost in pravilnost klasifikacije stavb smo najprej določili za posamezno datoteko (območje  $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ ), nato smo izračunali povprečno pravilnost in popolnost klasifikacije stavb v posameznem oddajnem bloku. Nazadnje smo določili še povprečno pravilnost in popolnost za območje Slovenije kot povprečje posameznih oddajnih blokov.

Lažno klasificirane stavbe smo uvrstili v pet razredov glede na vrsto objekta, ki je bil nepravilno klasificiran kot stavba:

- 1 vegetacija,
- 2 kupi materiala, skladovnice in špičaste vrhove,
- 3 mostovi in viadukti,
- 4 brežine in strmine,
- 5 vozila.

Med lažno klasificiranimi stavbami so različne oblike vegetacije: žive meje, sestoji goste srednje visoke vegetacije ob brežinah (na primer sestoji japonskega dresnika), posamezna nižja drevesa v gozdu, ki imajo obliko krošnje geometrijsko zelo podobno streham stavb (večinoma iglavci). Med kupi materiala, skladovnicami in špičastimi vrhovi je največ skladovnic lesa, še posebno na območjih kjer je bil v letu 2014 žledolom, saj so te skladovnice v večini primerov višje od 1 m in velikokrat pokrite z začasno streho. Mostovi in viadukti so bili namenoma klasificirani med stavbe, saj jih v digitalnem modelu reliefa ni smelo biti. Med nepravilno klasificirane brežine in strmine večinoma sodijo zelo strme terase ali brežine na večjih vodotokih višje od 1 m. Med vozila pa sodijo visoke in dolge prikolice priklopnikov, kot zanimivost pa omenimo še letala na letališčih, ki so tudi razpoznanja kot stavbe.

Za analizo smo s samodejnim postopkom določili vektorski obris stavb iz točk v klasifikacijskem razredu stavbe GKOT. Izdelali smo digitalni model površja stavb, ki smo ga zapisali v rastrsko datoteko s prostorsko ločljivostjo 1 m. Na določenih delih streh ni bilo odboja laserskega žarka oziroma posamezne točke niso klasificirane kot stavba, kar je lahko posledica premajhnega števila točk na delu strehe (zelo razčlenjena streha z nadstreški) ali delnega zakritja strehe z vegetacijo. Posledice manjkajočih podatkov se kažejo v nepravilnem obrisu stavbe. Zato smo območja brez podatkov znotraj posameznega obrisa stavbe določili z interpolacijo, tako da smo slikovnemu elementu brez podatka dodelili vrednost sosednjih slikovnih elementov.

Vektorske obrise stavb smo določili z metodo objektno usmerjene analize. V prvem koraku smo interpoliran model površja stavb segmentirali z algoritmom iskanja robov *Contrast split* (programsko orodje eCognition), ki temelji na določitvi segmenta na podlagi kontrastnosti skupine sosednjih slikovnih elementov. Nato smo na podlagi povprečne nadmorske višine, segmente uvrstili v razreda stavba (višje od 1 m) in tla (nižje od 1 m). Segmente razreda stavba smo nato zapisali v standardno vektorsko datoteko, ki smo jo uporabili za primerjavo z obrisi stavb katastra stavb in za izračun relativne površine obrisov stavb glede na površino  $1 \text{ km}^2$ .

## 4 Rezultati

### 4.1 Pravilnost in popolnost klasifikacije laserskih podatkov

V okviru kontrole kakovosti klasifikacije stavb na vzorcu datotek je bilo pregledanih 1060  $\text{km}^2$  oziroma datotek, na njih je bilo pregledanih 107.078 objektov, ki so bili klasificirani kot stavbe ali povprečno 6.299 objektov na snemalni blok. Povprečne vrednosti za bloke skenirane v letih 2014–2015 so: 97,6 % popolnost in 92,1 % pravilnost klasifikacije stavb (Triglav Čekada in Bric 2015).

Pri kontroli popolnosti klasifikacije smo ugotovili, da so večinoma izpadli zelo majhni objekti, kot so kapelice ali nekateri ozki seniki. Posamezne nerazpoznane stavbe imajo tip kritine, ki je zelo slab odbojnik v valovni dolžini laserja (v tem primeru na območju strehe manjkajo laserske točke).

*Preglednica 1: Kontrola klasifikacije stavb za vse bloke.*

blok	popolnost klasifikacije stavb (%)	pravilnost klasifikacije stavb (%)
B11	98,6	92,5
B15	99,4	91,3
B16	98,5	96,0
B14	97,7	95,0
B12	99,5	86,3
B13	98,6	94,4
B24	99,4	94,8
B23	97,5	90,6
B26	98,2	95,9
B22	98,6	94,7
B34	99,0	88,5
B31	90,4	82,8
B37	95,7	89,6
B36	97,3	93,8
B32	97,8	93,4
B33	94,8	91,4
B35	98,3	94,4
povprečje za Slovenijo	97,6	92,1

*Preglednica 2: Deleži lažno klasificiranih stavb. Skupna vsota lažno klasificiranih stavb je 100 % na blok.*

blok	1 vegetacija (%)	2 skladovnice (%)	3 mostovi (%)	4 brežine (%)	5 kamioni (%)
B11	74,9	6,6	3,2	4,3	11,1
B15	24,2	39,4	9,4	7,9	19,1
B16	22,3	50,3	3,8	14,0	9,6
B14	30,0	39,7	7,0	12,1	11,2
B12	53,4	34,9	3,0	3,8	5,0
B13	36,7	43,4	6,1	10,4	3,5
B24	37,3	40,0	7,8	1,4	13,6
B23	72,5	12,4	7,6	2,6	5,0
B26	37,5	39,6	11,8	10,4	0,7
B22	42,5	21,8	9,0	19,5	7,3
B34	62,1	16,0	7,2	8,5	6,2
B31	10,3	33,9	9,2	45,4	1,1
B37	11,9	19,7	8,7	59,6	0,0
B36	17,1	50,9	7,2	16,2	8,7
B32	10,3	59,9	12,9	14,8	2,1
B33	9,6	33,8	9,6	46,1	0,9
B35	7,2	69,8	5,5	7,6	10,0
povprečje	32,9	36,0	7,6	16,7	6,8

V preglednici 2 si podrobno oglejmo še deleže lažno klasificiranih stavb glede na tip napake. Največja deleža napak predstavljata vegetacija z 32,9 % ter skladovnice in drugi kupi materiala s 36,0 %. Brežine in druge strmine predstavljajo 16,7 % napak. Najmanjša deleža pa predstavljajo mostovi 7,6 % in kamioni 6,8 %. Od povprečnih vrednosti za Slovenijo najbolj izstopa prvi oddani blok B11, kjer je bila večina lažno klasificiranih stavb vegetacija (74,9 %).

#### 4.2 Primerjava s katastrom stavb

V nadaljevanju smo ocenili popolnost in pravilnost podatkov o stavbah, določenih na podlagi izdelka GKOT, ter stavbami, ki so evidentirane v katastru stavb. V katastru stavb je bilo na datum prevzema podatkov (8.9.2015) evidentiranih 1.103.678 stavb, katerih obris presega 16 m<sup>2</sup>. S samodejnim postopkom smo v izdelku GKOT razpoznali 1.058.273 stavb, oziroma 95,9 % stavb, ki so zapisane v katastru stavb. Pri vizualnem pregledu dela nerazpoznanih stavb smo ugotovili, da gre deloma za evidentirane stavbe, ki v naravi ne obstajajo več (porušene stavbe), deloma pa gre za stavbe, ki v izdelku GKOT niso klasificirane kot stavbe. Zato ocenjujemo, da je dejanska popolnost razpoznanih stavb v izdelku GKOT višja kot je izračunana na podlagi katastra stavb.

Nato smo izračunali še pravilnost identificiranih stavb na podlagi izdelka GKOT. Število obrisov stavb je 1.108.405, od tega 835.738 stavb evidentiranih v katastru stavb, oziroma 75,4 %. V okviru vizualnega pregleda lažno identificiranih stavb smo ugotovili, da gre deloma za dejanske stavbe v naravi, ki niso evidentirane v katastru stavb, deloma pa za dejansko lažno identificirane stavbe. Ocenjujemo, da je dejanska pravilnost razpoznanih stavb v izdelku GKOT višja kot je izračunana na podlagi katastra stavb kot referenčnega vira podatkov.

#### 4.3 Možnost uporabe obrisov stavb v geografskih analizah

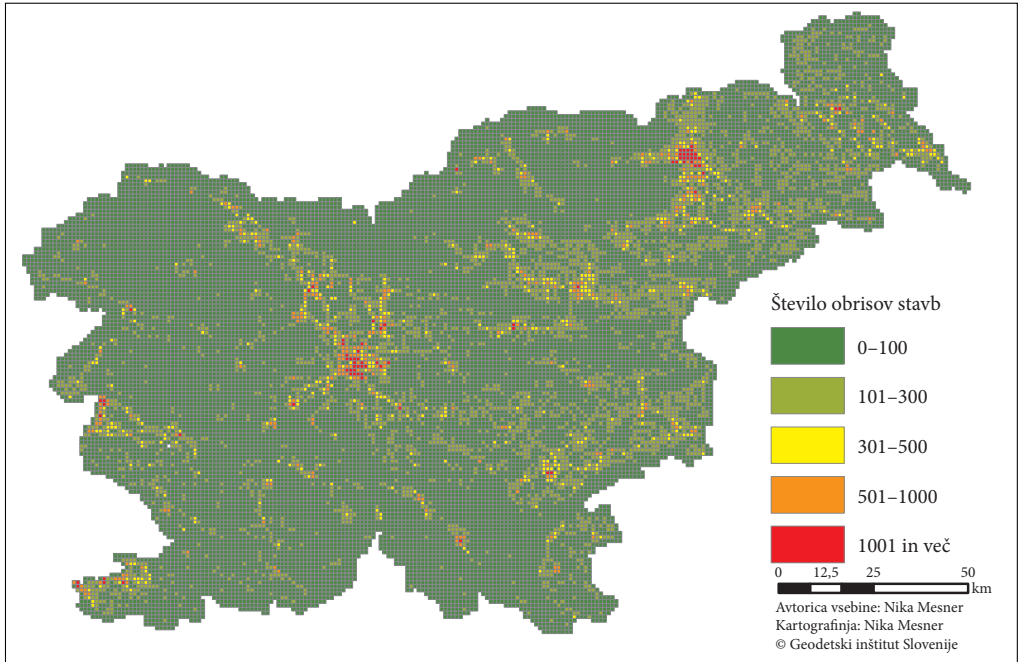
Obrise stavb, ki smo jih določili na podlagi klasifikacijskega razreda stavbe, je možno uporabiti za številne geografske analize. V nadaljevanju je predstavljen primer izračuna kazalnika števila obrisov stavb na km<sup>2</sup>, ki je lahko podlaga za oceno strnjjenosti pozidave. Posamezne celice so kategorizirane v pet razredov urbanizacije (Drobne s sodelavci 2014) glede na število stavb znotraj celice.

Iz slike 3 je razvidno, da nekatera slovenska mesta niso uvrščena v razred z najvišjim številom stavb na km<sup>2</sup>. Predvsem zato, ker obrisi stavb, ki temeljijo zgolj na izdelku GKOT, podajo samo eno stavbo tam, kjer so stavbe v naravi združene v niz (na primer vrstne hiše ali gosta mestna jedra). Tako je na primer staro mestno jedro v Piranu predstavljeno le z enim obrisom stavbe, ki ima zelo veliko površino. Po drugi strani pa je na ruralnih območjih tipologija pozidave drugačna (samostojne stavbe) in je število obrisov stavb iz GKOT bistveno bolj skladno z dejanskim številom stavb v naravi. Zato je za proučevanje strnjjenosti pozidave na podlagi izdelka GKOT bolj kot število primeren kazalnik površina. Za proučevanje števila stavb pa se priporoča uporaba dodatnih virov podatkov kot je npr. evidenca hišnih števil ali kataster stavb, na podlagi katere lahko določimo število stavb znotraj enega obrisa stavbe.

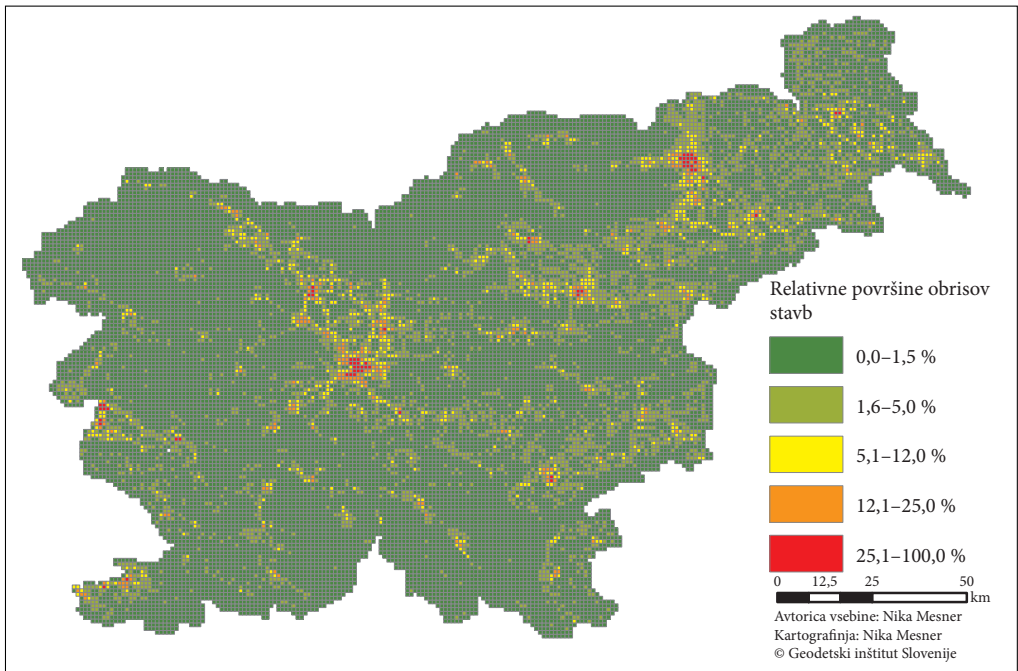
Na sliki 4 je prikazan delež površine obrisov stavb znotraj celice velikosti 1 km<sup>2</sup> (relativna površina obrisov stavb), ki smo jih kategorizirali v pet razredov. Skupna površina obrisov vseh stavb v Sloveniji je 282,6 km<sup>2</sup> oziroma 1,4 % državnega ozemlja.

Iz karte relativnih površin obrisov stavb na km<sup>2</sup> je razvidno dobro strukturirano policentrično omrežje središč z velikim številom središč različnih ravni (slika 5). Posebej dobro je razvidno dvostopenjsko strukturirano omrežje središč nacionalnega in regionalnega pomena (Bartol s sodelavci 2004).

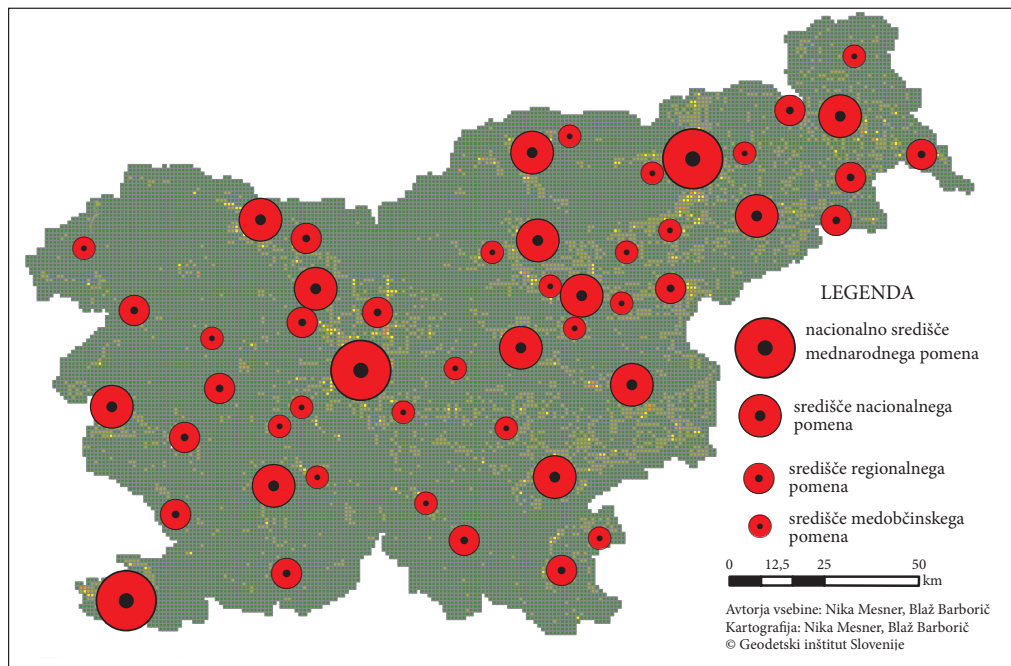
S kazalnikom relativnih površin obrisov stavb na km<sup>2</sup> lahko ugotavljamo stanje poselitvenega sistema oziroma poselitvenega vzorca. S primerjavo vrednosti kazalnika v različnih časovnih vrstah je mogoče ugotavljati prostorsko razvojne trende poselitvenega sistema v Sloveniji, predvsem glede razvoja funkcionalnih urbanih območij, razpršene poselitve in podeželskih naselij. Poselitveni vzorci nam omogočajo boljše razumevanje poselitvenega sistema. So, kot sestavni deli sistema poselitve, dinamični in se



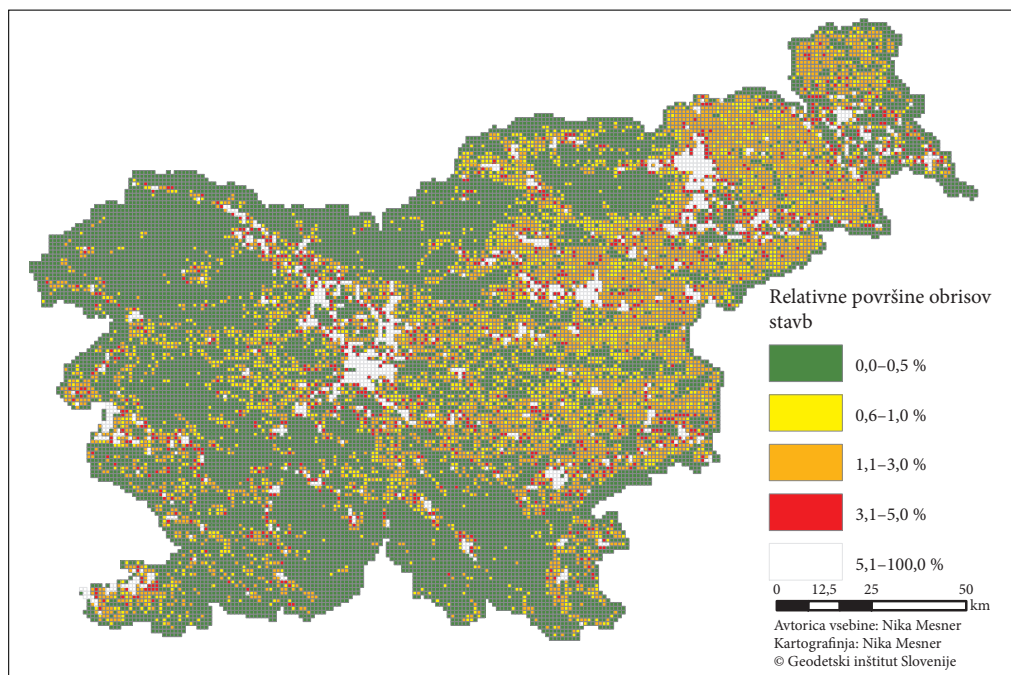
Slika 3: Število obrisov stavb na km<sup>2</sup> s kategorizacijo na pet razredov urbaniziranosti.



Slika 4: Relativne površine obrisov stavb glede na površino 1 km<sup>2</sup>.



Slika 5: Policentrično omrežje urbanega sistema in relativne površine obrisov stavb.



Slika 6: Členitev relativnih deležev površin obrisov stavb izven mestnih naselij.



s časom spreminjajo (Zavodnik 1998). Omenjen kazalnik omogoča preučevanje poselitvenih vzorcev tako na ravni države kot na ravni naselij. Z razumevanjem poselitvenih vzorcev in poselitvenega sistema lahko vplivamo na njihov nadaljnji razvoj.

S členitvijo kazalnika relativnih površin obrisov stavb na km<sup>2</sup> izven mestnih (urbanih) naselij (slika 6), lahko prikažemo razpršen poselitveni vzorec poselitve z velikim številom majhnih naselij. Tudi tukaj nam s primerjavo podatkov v različnih časovnih vrstah kazalnik omogoča spremljanje razvojnih trendov razpršene poselitve. Ugotavljanje prostorsko razvojnih trendov je osnova za pripravo ukrepov in strategije prostorskega razvoja.

## 5 Sklep

V članku smo predstavili popolnost in pravilnost samodejne klasifikacije stavb, ki je bila izvedena v okviru projekta lasersko skeniranje Slovenije. S pomočjo kontrole na 5 % vzorcu datotek smo s pomočjo fotointerpretacije ugotovili, da so stavbe klasificirane s 97,6 % popolnostjo in 92,1 % pravilnostjo. Podrobno smo analizirali še lažno klasificirane stavbe, kjer smo ugotovili, da največja deleža lažno klasificiranih stavb predstavljajo vegetacija, skladovnice in drugi kupi materiala.

Samodejno smo izdelali vektorski sloj obrisov stavb, ki smo jih uporabili za proučevanje poselitvenega sistema Slovenije. Vektorski sloj smo uporabili za izračun dveh kazalnikov: število stavb na km<sup>2</sup> in površine stavb na km<sup>2</sup> (relativni delež površine obrisov stavb). S tem smo potrdili, da so samodejno klasificirane stavbe iz prosto dostopnih podatkov laserskega skeniranja Slovenije, zadosten vir za preučevanje poselitvenega sistema tako na ravni države kot na ravni naselij. Kazalnik relativnih površin obrisov stavb na km<sup>2</sup> omogoča preučevanje trenutnega stanja poselitvenega sistema. Če podatke pridobljene iz laserskih podatkov Slovenije, kombiniramo z podatki iz drugih časovnih obdobj, lahko preučujemo tudi razvojne trende poselitve. To je lahko strokovna podlaga za sprejem ukrepov in strategije prostorskega razvoja.

## 6 Zahvala

Delo je bilo delno financirano v okviru temeljnega raziskovalnega projekta J2-5479 Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije.

## 7 Viri in literatura

- Drobne, S., Žaucer, T., Foški, M., Zavodnik Lamovšek, A. 2014: Strnjenost pozidanih površin kot merilo za določanje območij mestnih naselij. *Geodetski vestnik* 58-1.
- Fridl, J., Kladnik, D., Orožen Adamič, M., Perko, D. (ur.) 1998: *Geografski atlas Slovenije – Država v prostoru in času*. Ljubljana.
- Bartol, B., Bratina-Jurkovič, N., Fatur, A., Fon-Boštjančič, N., Košak, E., Lapanja, A., Lenarčič, F., Podlesnik, F., Torbica, J., 2004: *Strategija prostorskega razvoja Slovenije*. Ljubljana. Medmrežje: [http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/publikacije/sprs\\_slo.pdf](http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/publikacije/sprs_slo.pdf) (30. 11. 2015).
- Miklavčič, T. (ur.), Fonda, M., Zavodnik Lamovšek, A., Pogačnik, A., Foški, M., Drobne, S., Golobič, M., Marot, N., Hudoklin, J., Hočevar, I. 2015. Poročilo o prostorskem razvoju. Ljubljana. Medmrežje: [http://ipop.si/wp/wp-content/uploads/2015/06/proocilo\\_o\\_\\$\\_prostorskem\\_razvoju.pdf](http://ipop.si/wp/wp-content/uploads/2015/06/proocilo_o_$_prostorskem_razvoju.pdf) (10. 1. 2016).
- Mongus, D., Horvat, D. 2015: gLidar – Napredno orodje za obdelavo lidarskih podatkov. *Geodetski vestnik* 59-1.

- Premzl, V., Lobnik, F., Drozg, V., Koželj, J., Jurca, N., Lah, A., Marušič, J., Mušič, V., Plut, D., Pogačnik, A., Kocuvan Polutnik, A., Ravbar, M., Sterlekar, N. N. 1999. Mesta in urbanizacija. Usklajeno in sonaravno 3.
- Triglav Čekada, M., Bric, V. 2015: Končan je projekt laserskega skeniranja Slovenije. Geodetski vestnik 59-3.
- Geodetska uprava Republike Slovenije. Portal Prostor. Ljubljana, 2015. Medmrežje: <http://www.e-prostor.gov.si/> (15. 11. 2015).
- Grilj, T., Cunder, M., Kogovšek, P., Kregar, M., Štraus, L. 2015: eVode, Atlas voda in LIDAR – novi javno dostopni in brezplačni sistem za dostop do podatkov s področja upravljanja voda. Urbani izziv 5.
- Grilc, M., Pogorelčnik, E., Triglav, M., Pegan-Žvokelj, B. 2003: Vzpostavitev katastra stavb – registrski podatki. Geodetski Vestnik 47-3.
- Geodetski inštitut Slovenije. Stavbe – avtomatska klasifikacija 2015. Končno poročilo. Ljubljana, 2015.
- Zakon o evidentiranju nepremičnin (ZEN). Uradni list 47/2006. Ljubljana
- Zavodnik, A. 1998: Razvoj sistemov poselitve: od ideje centralnosti do disperzije. Urbani izziv 9-1.



# PROSTORSKO PLANIRANJE IN UPRAVLJANJE NA LOKALNI RAVNI Z UPORABO TEHNOLOGIJ GEOGRAFSKIH INFORMACIJSKIH SISTEMOV (GIS)

*Ivan Stanič, Marko Premelč, Vitomir Wolf, Miha Zorn*

*Mestna uprava, Mestna občina Ljubljana*

*ivan.stanic@ljubljana.si, marko.premelc@ljubljana.si, vito.wolf@ljubljana.si, miha.zorn@ljubljana.si*

UDK: 711.28(497.4Ljubljana)

91:659.2:004(497.4Ljubljana)

## IZVLEČEK

### ***Prostorsko planiranje in upravljanje na lokalni ravni z uporabo tehnologij geografskih informacijskih sistemov***

*Geografski informacijski sistemi so priznani in delujoče ogrodje za izvajanje različnih opravil na različnih oddelkih v Mestni upravi Mestne občine Ljubljana. V prispevku je prikazano informacijsko okolje Oddelka za urejanje prostora, ki je bil pionir na področju uvajanja informacijsko podprtih tehnologij v upravno delo in razvojno načrtovanje. Vsi procesi izvajanja opravil oddelka so podprti s tehnologijo GIS. Vključujejo vse faze dela od razvojnega načrtovanja, izdelave podrobnih planskih dokumentov do neposrednega izvajanja upravnih nalog. Za te namene so razvite posebne aplikacije.*

## KLJUČNE BESEDE

*Ljubljana, prostorski informacijski sistem, aplikacije, URBINFO, LiMOL*

## ABSTRACT

### ***Spatial planning and management on the local level with the use of geographic information system (GIS) technology***

*Geographic information systems are a recognised and operational framework for the implementation of 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, which was the pionir in the use of information technologies for the support of administrative tasks and development planning. All the undertaken processes are supported by GIS technology. They include all phases from development planning, production of detailed plans to direct execution of administrative tasks. Specific applications have been developed for these purposes.*

## KEY WORDS

*Ljubljana, spatial information system, applications, URBINFO, LiMOL*

## 1 Uvod

Mestna občina Ljubljana (MOL) je za izvajanje predpisanih upravnih in razvojnih nalog prostorskega načrtovanja na Oddelku za urejanje prostora (OUP) vzpostavila podporno informacijsko infrastrukturo. Temelji na uporabi tehnologije geografskih informacijskih sistemov (GIS), ki smiselno združuje posamezne notranje in zunanje podatkovne zbirke na skupnem ogrodju. Osnovna podatkovna zbirka so kompleksni podatki iz Občinskega prostorskega načrta MOL. Tej zbirki je dodana zbirka veljavnih in razveljavljenih izvedbenih aktov iz različnih zgodovinskih in pravnih obdobij. Dodane so še zunanje podatkovne zbirke iz katere prostorski informacijski sistem črpa podatke o različnih režimih skrbništva (na primer varstvo narave in kulturne dediščine, varovalni gozdovi idr.). Podatkovni sistem dopolnjujejo skupni katastri oziroma kartografske podlage (na primer zemljiški kataster, topografski zemljevidi, digitalni ortofoto posnetki, evidenca hišnih številčk EHIŠ), ki jih za lastne namene in v različnih GIS aplikacijah uporabljajo posamezni organi Mestne uprave MOL. Za posamezne periodične postopke, na primer sprejemanje pobud za spremembe planskih dokumentov, so razvite posebne aplikacije. Poleg teh aplikacij so razvite še druge, ki niso neposredno vezane na upravne naloge pristojnega oddelka, pač pa so namenjene različnim analitičnim opravilom in posredovanju prostorskih podatkov oziroma informacij najširši javnosti.

Podatkovni nabor informacijskega sistema upošteva vse zahteve iz področne zakonodaje, na primer Direktive INSPIRE (2007), Zakona o prostorskem načrtovanju (2007), Zakona o graditvi objektov (2004) in podzakonskih aktov (več o prostorsko planskih opravilih v Dekleva s sodelavci 2011).

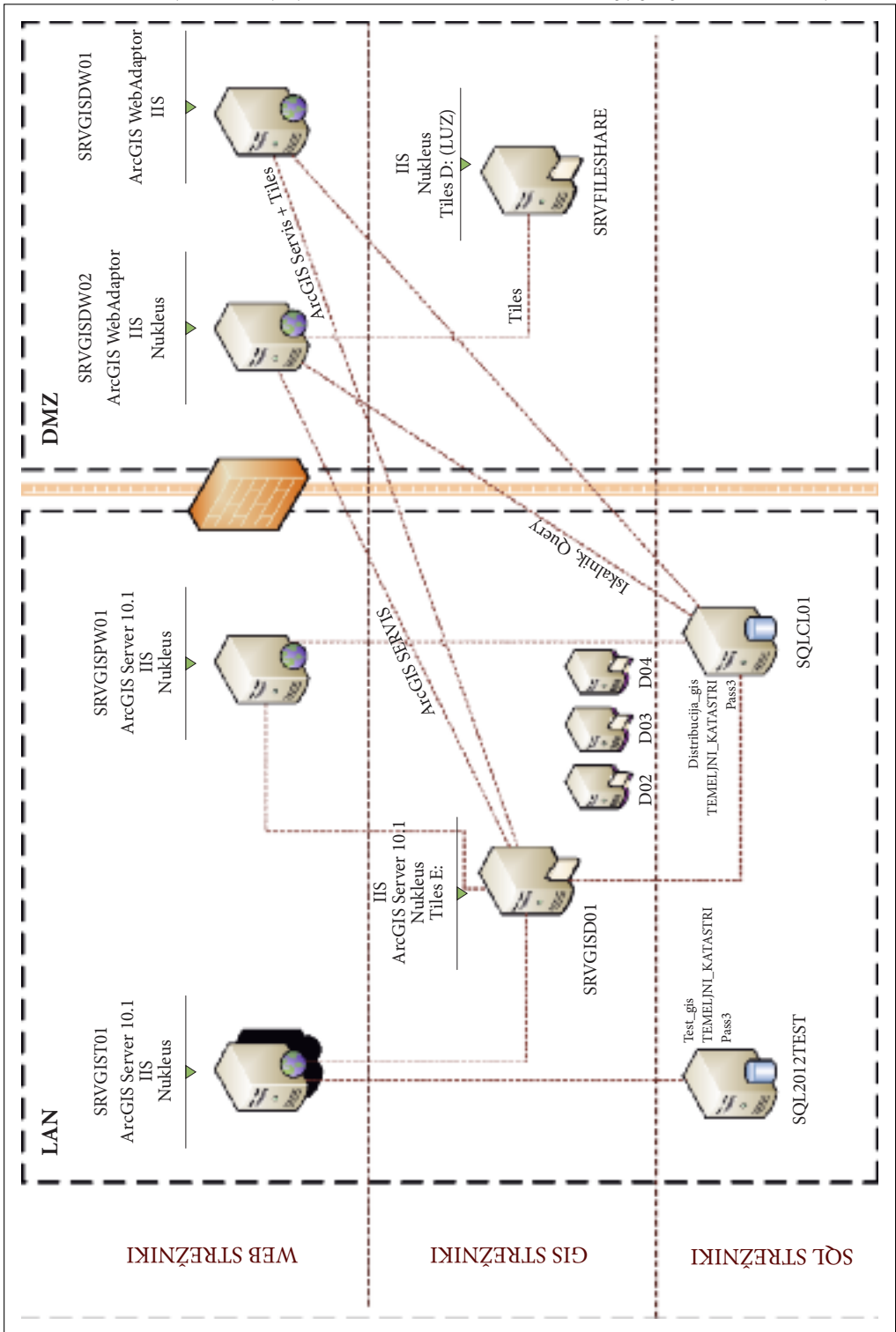
Celovit zajem prostorskih podatkov omogoča hitrejšo, učinkovitejšo in natančnejšo upravno delo, ki je povezano z analitičnimi vsebinami upravnega dela, predvsem pa z izdelavo predpisanih dokumentov lokalne skupnosti, na primer lokacijske informacije, različnih potrdil, mnenj, tolmačenj in informacij za občane in investitorje.

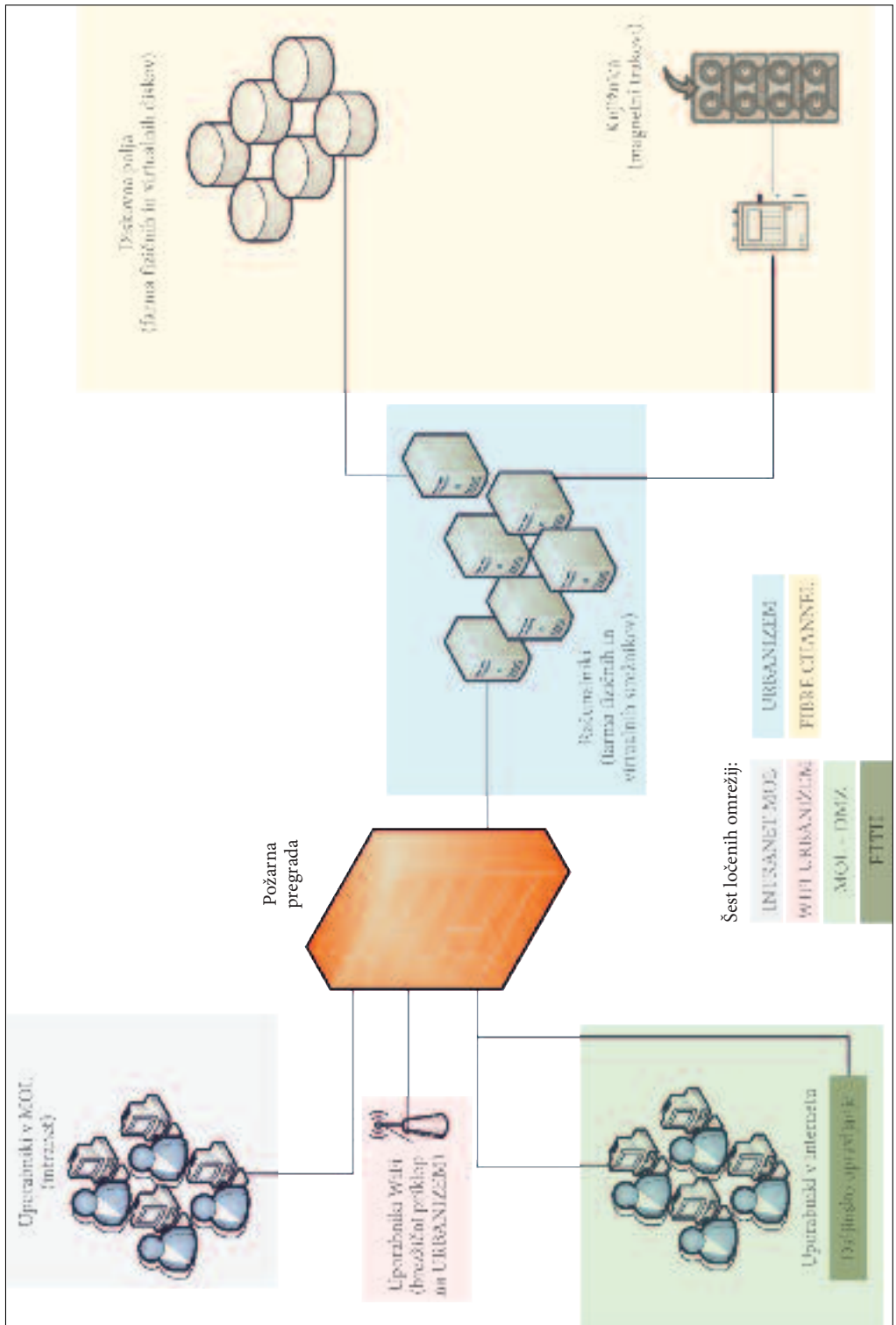
Geografski informacijski sistemi so v MOL v uporabi že od leta 1992. Takrat so bile postavljene prve zahteve po geolociranju podatkov v prostoru in njihovi nadaljnji obdelavi. Danes imamo v MOL zelo dobro razvito geoinformacijsko podporo, ki se uporablja skoraj v vseh oddelkih in službah MOL. Ker se je vse začelo v OUP (informatika v MOL), je skladno s tem tudi nastajal samostojni informacijski center znotraj MOL, z namenom zagotavljanja celovite podpore in GIS rešitev za zaposlene v OUP in občane.

Za obdelavo GIS podatkov in aplikacij, trenutno skrbita dva sistema postavljenih strežnikov za GIS: prvi je na Centru za informatiko (CI – slika 1), drugi na Oddelku za urejanje prostora (OUP – slika 2), kjer je tudi lokalno podatkovno skladišče z bazami podatkov in spremljevalnim geoinformacijskim orodjem. Prvi ima vse aplikacije in centralizirano bazo podatkov temeljnih katastrov in kartografskih podlag (register prostorskih enot, rastrske podlage, zemljiški kataster idr.) za potrebe MOL, drugi pa poleg svojih aplikacij in baz podatkov še celoten arhiv dosedanjih prostorskih podatkov, ki so bili kadar koli ustvarjeni oziroma obdelani znotraj oddelka (slika 3). Med programi prevladuje orodje podjetja ESRI, ki ima prevladujočo vlogo že od prvotne vzpostavitve sistema. Zaradi arhivskih podatkov je tudi arhitektura celotnega sistema narejena na različnih različicah orodij GIS (na primer od ArcIMS Server 9.3.1 do ArcGIS Server 10.3.1).

*Slika 1: Shema strežnikov GIS v Centru za informatiko Mestne uprave MOL (Center za informatiko MOL 2014; priredil Mišvelj, Ljubljanski urbanistični zavod, d. d., 2014). ►*

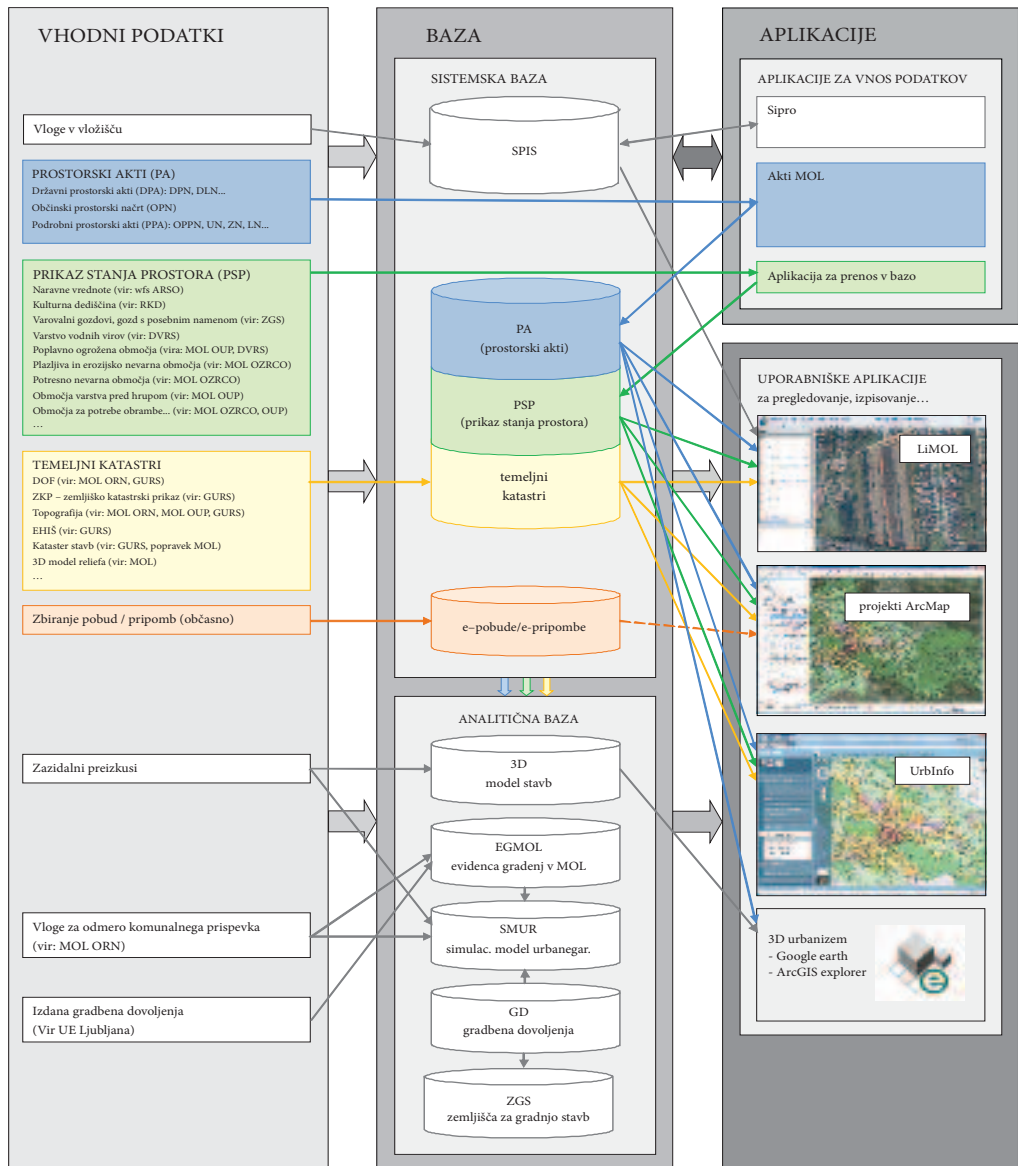
*Slika 2: Shema strežnikov GIS na Oddelku za urejanje prostora MOL (Oddelek za urejanje prostora MOL 2014). ► (str. 182)*





## 2 Podatkovni elementi prostorskega informacijskega sistema Oddelka za urejanje prostora – PIS OUP

Vhodni podatki podatkovne baze so Občinski prostorski načrt Mestne občine Ljubljana, podrobni občinski izvedbeni akti, državni prostorski akti, prikaz stanja prostora in temeljni katastri. Dopolnjujejo jih podatki, vezani na upravno poslovanje in postopkov ob izdelavi posameznih planskih aktov (slika 3).



Slika 3: Celovita struktura prostorskega informacijskega sistema Oddelka za urejanje prostora – PIS OUP (Oddelek za urejanje prostora MOL 2014).



Preglednica 1: Aplikacije za vnos podatkovnih vsebin, vzdrževanje analitičnih baz in uporabo PIS OUP.

zaporedna številka	ime aplikacije	namen aplikacije	ročnost aplikacije
1	Projekti ARCMAP (različne aplikacije za stalno ali enkratno uporabo, vezane na izdelavo OPN MOL)	<ul style="list-style-type: none"> <li>zbiranje in obdelava pobud za spremembe in dopolnitve Občinskega prostorskega načrta MOL ter obdelava pripomb s spletno aplikacijo za javne razgrnitve;</li> <li>vsebinska opredelitev in implementacija prikazov urbanističnih projektov v povezavi z grafičnim delom izvedbenega dela Občinskega prostorskega načrta MOL;</li> <li>implementacija shranjevanja in spremljanja pripomb, podanih na javnih razgrnitvah novih prostorskih aktov;</li> <li>preveritev in dopolnitev podatkovne baze stavb MOL za potrebe urejanja prostora;</li> <li> vključevanje vsebin občinskih podrobnih prostorskih načrtov v postopke OUP in priprava enotnega formalno-pravnega sloja za načrtovanje podrobne zazidalne/ureditvene situacije MOL;</li> </ul>	posodobitve na 3–5 let
2	AktiMOL	<ul style="list-style-type: none"> <li>aplikacija za pripravo podatkov iz zunanjih podatkovnih zbirk za upravne aplikacije (stanje prostora, režimi);</li> <li>vsebinska in tehnološka prilagoditev izdaje potrdil, vezane na upravne postopke; prilagoditev sistematizacije vođenja podatkovne zbirke za upravna opravila s področja urejanja prostora;</li> </ul>	ob posameznih dogodkih (sklep o začetku priprave, javna razgrnitev, sprejete na Mestnem svetu ...)
3	PSP	<ul style="list-style-type: none"> <li>aplikacija za pripravo podatkov iz zunanjih podatkovnih zbirk za upravne aplikacije (stanje prostora, režimi);</li> </ul>	sprotne posodobitve
4	LiMOL	<ul style="list-style-type: none"> <li>vsebinska in tehnološka prilagoditev izdaje potrdil, vezane na upravne postopke;</li> <li>prilagoditev sistematizacije vođenja podatkovne zbirke za upravna opravila s področja urejanja prostora;</li> </ul>	sprotne posodobitve
5	EgMOL	<ul style="list-style-type: none"> <li>elektronska podpora za spremljanje postopkov izdaje gradbenih dovoljenj na območju MOL;</li> </ul>	sprotne posodobitve
6	SIPRO	<ul style="list-style-type: none"> <li>uporabniški vmesnik med aplikacijami v vložišču in aplikacijo LiMOL;</li> </ul>	po potrebi
7	URBINFO	<ul style="list-style-type: none"> <li>redno posodabljanje portala za (javno) pregledovanje Občinskega prostorskega načrta MOL – grafični del in odloki;</li> </ul>	redno posodabljanje (PSP sprotne posodobitve, plan na 3 do 5 let, AktiMOL po potrebi)
8	3D Urbanizem	<ul style="list-style-type: none"> <li>dodelava 3D prikazov urbanističnih projektov za potrebe prostorskega načrtovanja;</li> <li>izdelava 3D-modelov za projekte v MOL;</li> <li>operacionalizacija 3D prikazovanja urbanističnih rešitev za pripravo planskih in izvedbenih aktov;</li> </ul>	posodobitve ob posameznih dogodkih
9	SMUR	<ul style="list-style-type: none"> <li>zasnova in izdelava simulaciji kot podpora izvajanju novih prostorskih aktov pri načrtovanju centralnih dejavnosti v MOL, prometnem načrtovanju in splošnem urbanem razvoju;</li> </ul>	posodobitve po potrebi

Vhodni podatki so razvrščeni v posamezne systemske ali analitične podatkovne baze, ki jih uporabljajo različne aplikacije (preglednica 1).

Vsebine Občinskega prostorskega načrta določajo Zakon o prostorskem načrtovanju ter podzakonski akti (ZPNačrt). Sestavljen je iz strateškega in izvedbenega dela (OPN MOL SD 2010; OPN MOL ID 2010).

Strateški del občinskega prostorskega načrta dolgoročno določa:

1. izhodišča in cilje ter zasnovo prostorskega razvoja občine;
2. usmeritve za razvoj poselitve in za celovito prenovno, usmeritve za razvoj v krajini, za določitev namenske rabe zemljišč in prostorskih izvedbenih pogojev ter zasnovo gospodarske javne infrastrukture lokalnega pomena;
3. območja naselij, vključno z območji razpršene gradnje, ki so z njimi prostorsko povezana;
4. območja razpršene poselitve.

Izvedbeni del občinskega prostorskega načrta po posameznih enotah urejanja prostora določa:

1. območja namenske rabe prostora;
2. prostorske izvedbene pogoje;
3. območja, za katera se pripravi občinski podrobni prostorski načrt.

Občinski prostorski načrt je leta 2010 zamenjal Dolgoročni plan občin in mesta Ljubljane za obdobje 1986–2000 iz leta 1986. Občinski prostorski načrt sproti dopolnjujemo. Tako smo že leta 2013 sprejeli prve spremembe izvedbenega dela (brez spreminjanja namenske rabe), leta 2015 pa druge. V letu 2016 se začne postopek naslednjih sprememb, ki obsegajo tako strateški kot izvedbeni del. Spremembe so nujne zaradi sprememb zakonodaje, novih izraženih potreb nosilcev urejanja prostora, občine, pravnih in fizičnih oseb, zaradi uskladitve z novimi državnimi prostorskimi načrti ter zaradi uskladitve z novimi varovalnimi in drugimi sektorskimi režimi v prostoru.

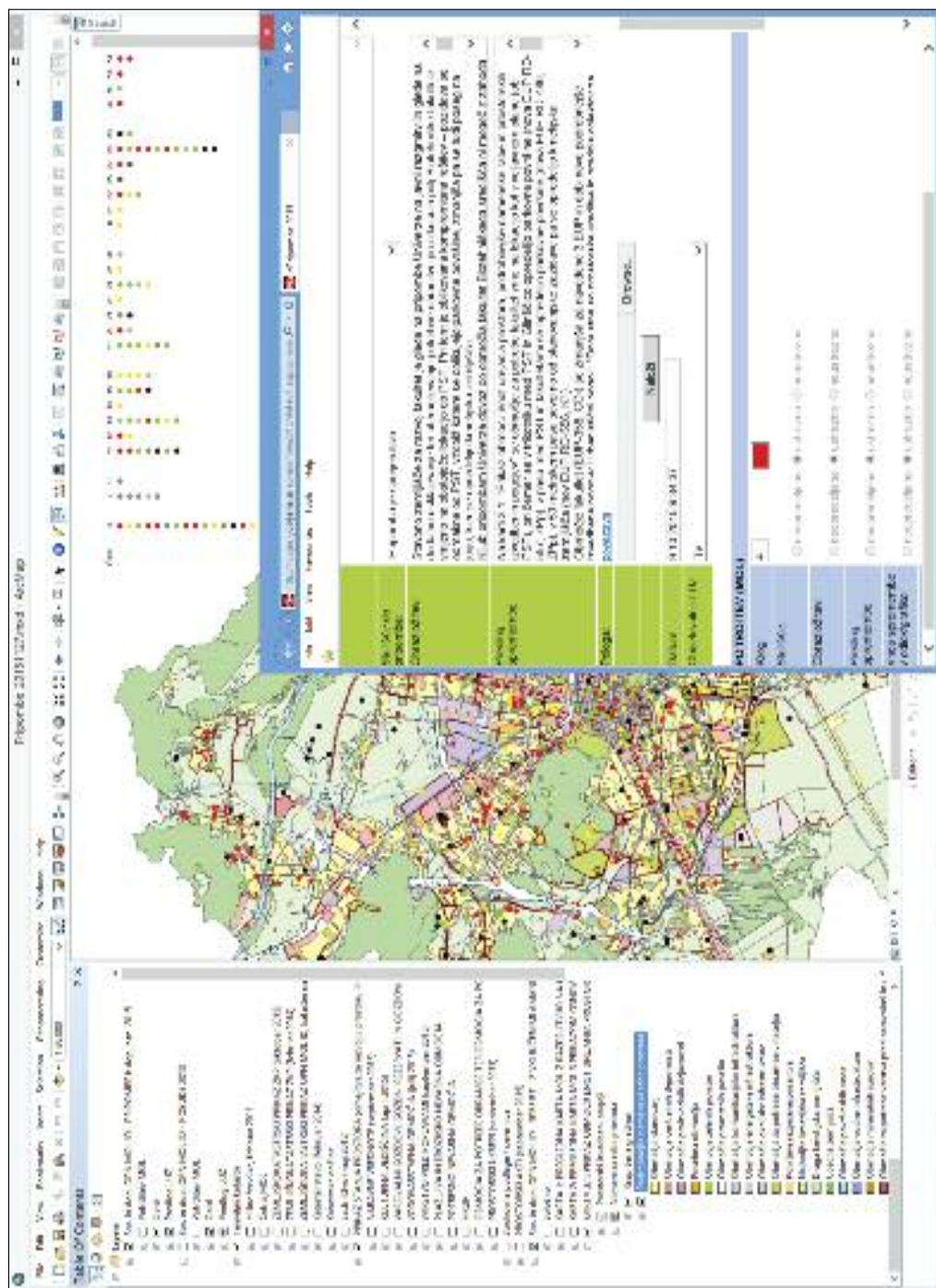
Priprava tako zahtevnega dokumenta zahteva vrhunsko opremljenost tako izdelovalca kot naročnika. Na MOL imamo zato na voljo zmogljive strežnike z Oracle, ArcSDE, ArcGIS in ArcIMS tehnologijo. Podatke obdelujemo na zmogljivih delovnih postajah s programi ArcMap. V zadnjih spremembah smo obravnavali 2223 pobud za spremembe ter 1263 pripomb, ki smo jih prejeli na javni razgrnitvi. Za zagotovitev stalne obravnave tako velikega števila pobud in pripomb uporabljamo poseben portal (slika 4), ki omogoča sistematično in transparentno sodelovanje med izvajalcem in naročnikom ter s tem korektno obravnavo.

Za upravne postopke je pomembnejši izvedbeni del, saj določa pogoje za posege v prostor za vsako parcelo. V njem so določeni pogoji za gradnjo objektov, ki predpisujejo dopustne posege, tipologijo, oblikovanje, velikost, zmogljivost in lego objektov, pogoje za priključitev na prometno in gospodarsko javno infrastrukturo ter množico drugih določil, ki usmerjajo gradnjo v občini.

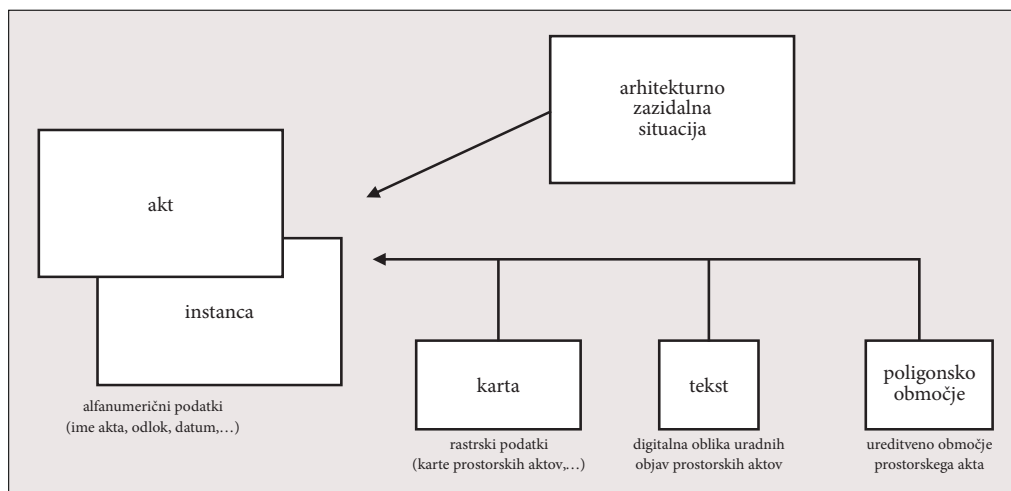
Za posamezne dele mesta veljajo **podrobni izvedbeni akti**. Ne glede na čas sprejetja teh dokumentov ali poimenovanje posameznih dokumentov so vsi pravna in regulacijska osnova za prostorske ureditve. V MOL veljajo tudi akti, katerih sprejetje seže v čase veljavnosti drugih zakonov. Z aplikacijo **AktiMOL** se povzemajo grafične osnove in alfanumerični deli, to so arhitekturno-zazidalne situacije z vsemi nujnimi sestavinami (prometna ureditev, razmejitve javno-zasebno, gospodarska javna infrastruktura ipd.) in odloki (slika 5). Pomembne so tudi kronološke opredelitve, t. i. instance, saj se v življenjskem ciklu akti dopolnjujejo in spreminjajo, vsaka sprememba pa pomeni pravno osnovo za morebitne poznejše razjasnitve, tudi v povezavi s postopki lastninjenja ali dokazovanja preteklih vlaganj.

Prikaz stanja prostora (**PSP**) se izvaja v skladu s Pravilnikom o prikazu stanja prostora v sorazmerno omejenem obsegu, saj prostorski podatki, pravni režimi in drugi potrebni podatki v vseh letih od uveljavitve Zakona o prostorskem načrtovanju in Uredbe o prostorskem informacijskem sistemu v letu 2007 še niso v celoti zbrani v osrednjem prostorskem informacijskem sistemu pristojnega ministrstva (Pravilnik ... 2008).

**Aplikacija PSP** je namenjena avtomatizaciji in uskladitvi postopkov prevzemanja podatkov iz zunanjih podatkovnih baz, ki jih OUP posreduje strankam v upravnih postopkih in občanom na splošno. Glede na dejstvo, da posamezna področja zunanjih virov niso strukturno poenotena in nimajo nujno



Slika 4: Prikaz delovnega portala za zbiranje pobud (Oddelek za urejanje prostora MOL 2016).



Slika 5: Podatkovna struktura v aplikaciji AktiMOL (Oddelek za urejanje prostora MOL; Zakrajšek 2015).

Preglednica 2: Podatki, potrebni za delovanje aplikacije PSP.

sloji aplikacije PSP	frekvenca osveževanja (pri objavi v Uradnem listu velja rok začetka veljavnosti akta)	vir	način distribucije (medij)
varstvo narave	objava v Uradnem listu RS	Agencija RS za okolje	Storitev WFS (Geoportal)
kulturna dediščina	3 mesece ali objava v Uradnem listu RS	Zavod RS za varstvo kulturne dediščine	po e-pošti
varovalni gozdovi, gozdni rezervati in gozdovi s posebnim namenom	objava v Uradnem listu RS	Zavod RS za gozdove, MOL	po e-pošti
vodovarstvena območja	objava v Uradnem listu RS	Agencija RS za okolje	po e-pošti
varstvo pred poplavami	objava v Uradnem listu RS	MOL	po e-pošti
plazljiva in erozijsko nevarna območja	–	Geološki zavod Slovenije, MOL	po e-pošti
potresno nevarna območja	–	Agencija RS za okolje	po e-pošti
območja varstva pred hrupom	objava v Uradnem listu RS	MOL	po e-pošti
območja za potrebe obrambe ter območja za potrebe varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami	objava v Uradnem listu RS	MOL	po e-pošti
prostorski ukrepi	objava v Uradnem listu RS	MOL	po e-pošti

enakih vsebinskih razdelkov, saj jih generirajo za lastne potrebe, kakor tudi dejstva, da vsi podatki v posameznih podatkovnih bazah nujno ne vplivajo na področja dela v pristojnosti MOL, je treba pripraviti takšno strukturo podatkovne baze, ki omogoča izvajanje nujnih opravil OUP, ki so vezana na upravno ali splošno informiranje strank oziroma občanov. Cilj uporabe aplikacije je delna avtomatizacija postopkov priprave podatkovne matrice za potrebe OUP iz zunanjih podatkovnih baz. Hkrati je treba prilagoditi novo aplikacijo že delujočim, vendar ločenim sistemom priprave podatkov iz zunanjih podatkovnih baz za aplikaciji LiMOL in URBINFO.

Trenutno, po skoraj desetletju od sprejetja zgoraj navedenih predpisov, še ne moremo govoriti o urejenem in centraliziranem prostorskem informacijskem sistemu. Z vidika občin (vključno z MOL) je prikaz PSP v prostorskem informacijskem sistemu MOL kot ga predpisuje Pravilnik o prikazu stanja prostora, omejen. Podatki, ki jih v svoji bazi za PSP oziroma v različnih prostorskih aplikacijah uporablja in prikazuje MOL, so zelo raznoliki. Omejitve predstavljajo predvsem različne strukture in poimenovanja podatkov, ki jih MOL pridobi iz zunanjih virov (na primer podatki o kulturni dediščini, naravnih vrednotah, ipd.). Njihove vsebine so prikazane v preglednici 2.

Trenutna razpršenost in neenotnost podatkovne strukture, poimenovanja, odsotnost metapodatkov oziroma njihova neažurnost ustvarjajo veliko nepotrebnih podatkov, nepreglednost in težavo v razumevanju prostorskih podatkov na več ravneh, predvsem pa pri končnem uporabniku. Centralizacija oziroma vzpostavitev prostorskega informacijskega sistema na državni ravni z urejeno metapodatkovno bazo in z enim upravljavcem oziroma skrbnikom, je tako nujna.

OUP izdaja več različnih potrdil oziroma informacij (lokacijska informacija, potrdilo o pogojih za parcelacijo, potrdilo o namenski rabi, potrdilo o spremembi namenske rabe idr.). Izdelujejo se s sintezno **aplikacijo za upravo poslovanje – LiMOL**, ki pridobiva podatke iz vseh ustreznih prostorskih baz, ki jih vzdržuje MOL (slika 6). Za izdelavo lokacijskih informacij je treba izvesti presek vseh relevantnih in dosegljivih grafičnih in alfanumeričnih podatkov, zato je aplikacija, vsaj podatkovno gledano, najbolj obsežna in zapletena aplikacija v uporabi na OUP. Aplikacija LiMOL služi kot pomoč pri delno avtomatizirani izdaji različnih dokumentov (potrdil in lokacijskih informacij) in izvedbi v poenoteni obliki, s tem da večino vsebinskega dela še vedno opravi usposobljeni strokovni sodelavec oziroma sodelavka. Glede na število (pripad) vloge in kompleksnost podatkovne materije se je aplikacija v praksi izkazala kot zelo učinkovita. Opazni sta racionalizacija iskalnih postopkov in izrazita pohitritev postopka izdajanja upravnih odločb oziroma potrdil in informacij, vezanih na delovno področje OUP.

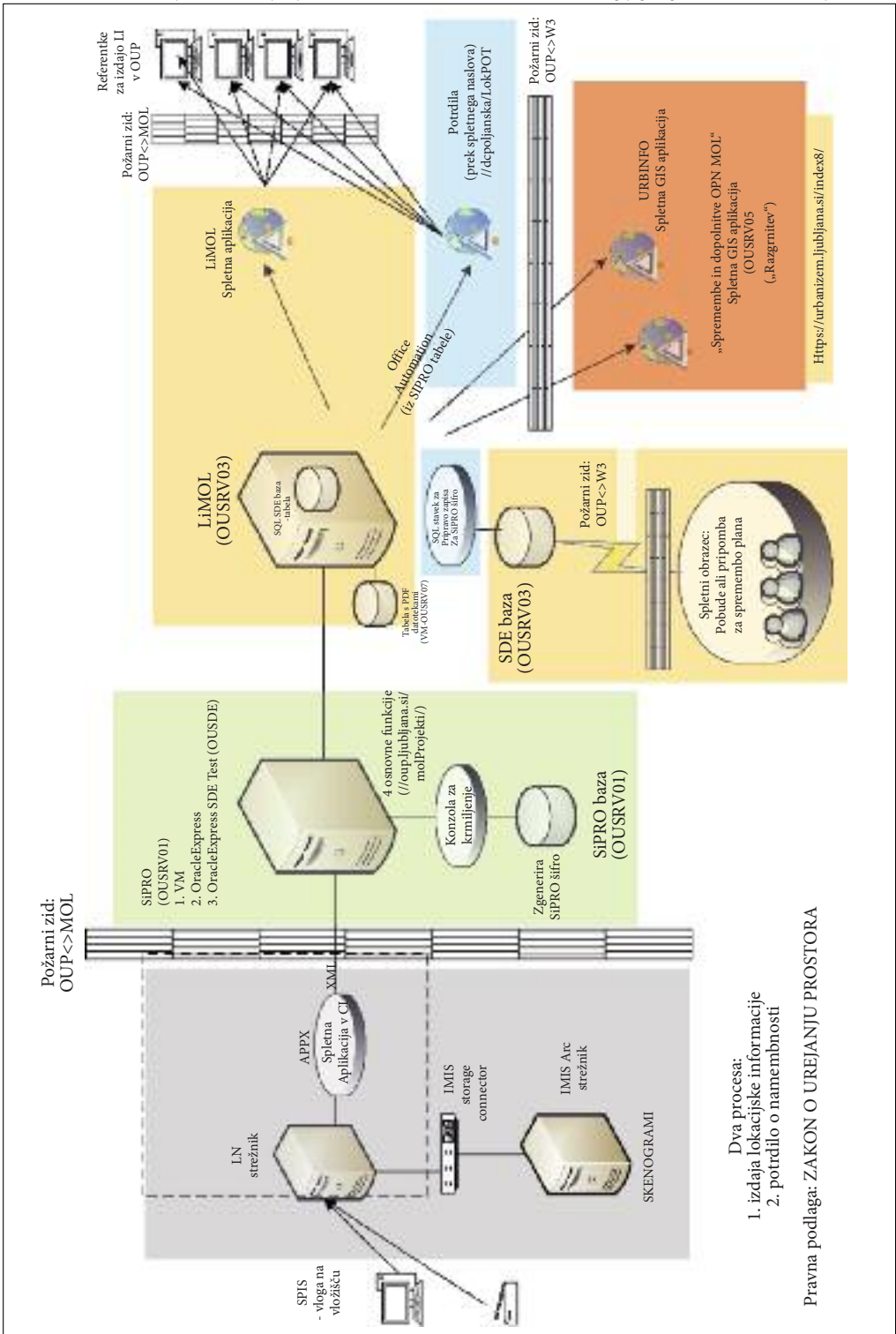
Za specifična opravila so razvite specifične aplikacije.

Na Mestni občini Ljubljana smo register stavb, ki jo zagotavlja Geodetska uprava RS, nadgradili z natančnejšimi izmerami stavb ter načrtovanimi projekti v različnih fazah, tako s projekti ki se že izvajajo, s projekti, ki so načrtovani, kot tudi s projekti, ki so šele v fazi idejne zasnove, in nam omogočajo svojevrsten vpogled v načrtovano prihodnost mesta. Tako smo razvili aplikacijo **3D Urbanizem** (Zakrajšek 2014) (slika 7).

**Simulacijski model urbanega razvoja** Mestne občine Ljubljana – SMUR je bil pripravljen kot strokovna podlaga za pripravo Občinskega prostorskega načrta MOL. Zajema podatke iz takratnih veljavnih prostorskih načrtov in predvideva razvoj mesta skozi povečanje ali zmanjšanje različnih kazalcev, kot so število prebivalcev, stanovanj, delovnih mest ter njihove površine. Na podlagi modela smo lahko simulirali potrebe po urejanju prometa ter gradnjo vrtcev, šol, domov za starejše in podobnega.

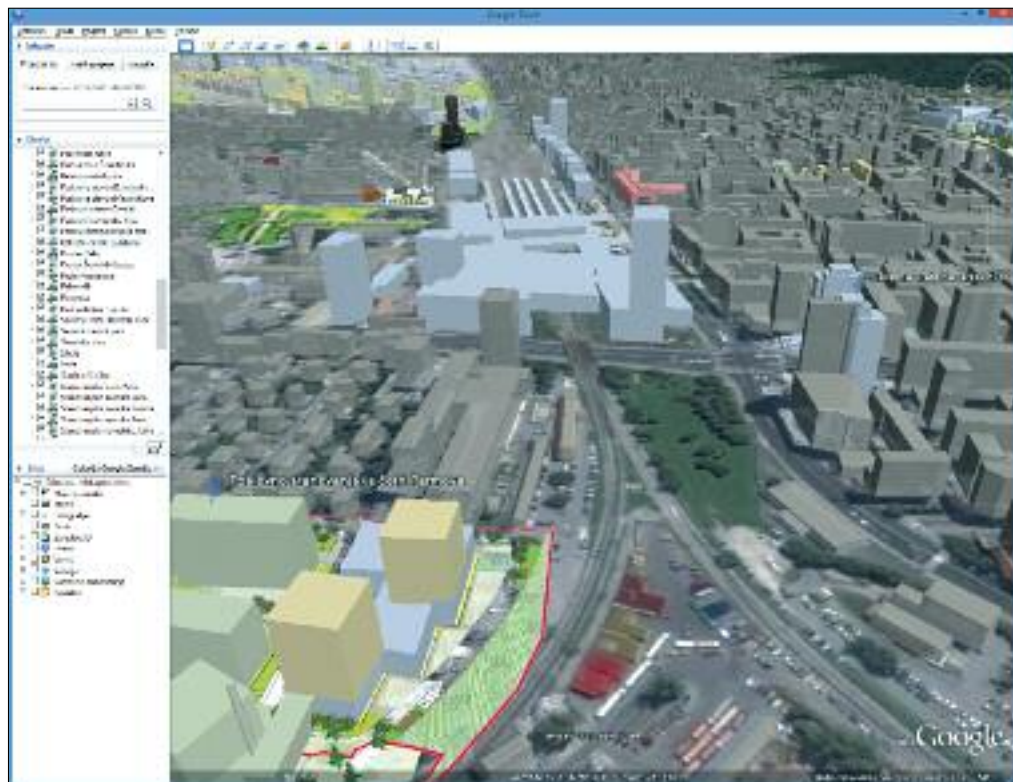
**URBINFO** je javni informacijski sistem prostorskih podatkov Mestne občine Ljubljana, ki omogoča vpogled v veljavne prostorske akte (državni prostorski akti, Občinski prostorski načrt in občinski podrobni prostorski akti) ter prikaz stanja prostora (poudarek na varstvenih režimih in drugih omejitvah). Z njim strokovnjaki in laiki enostavno 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

*Slika 6: Celoten proces za izdajo lokacijskih informacij in potrdil z aplikacijo LiMOL (Center za informatiko MOL 2015). ►*



- Dva procesa:
1. izdaja lokacijske informacije
  2. potrdilo o namembnosti

Pravna podlaga: ZAKON O UREJANJU PROSTORA



Slika 7: Prikaz 3D modela (Oddelek za urejanje prostora MOL 2016).

mednarodna zaveza, ki jo je Republika Slovenija ratificirala z Aarhuško konvencijo (Zakon o ratifikaciji ... 2004) (slika 8).

Za sodelovanje pri izvajanju postopkov po 62. členu Zakona o graditvi objektov (Zakon o graditvi objektov 2004) razvijamo aplikacijo **EgMOL**, ki je namenjena uskladitvi povezanih opravil Mestne uprave, in sicer podatkov iz postopkov za izdajo gradbenih dovoljenj, kjer MOL na povabilo Upravne enote Ljubljana sodeluje kot stranski udeleženec, in vlog za odmero komunalnega prispevka, pri čemer je plačilo pogoj za izdajo gradbenega dovoljenja. Do leta 2008 lokalna skupnost ni bila stranka v postopkih izdaje gradbenih dovoljenj, tako da je edini vzvod za spremljanje dinamike gradenj na območju MOL bila omenjena vloga za odmero komunalnega prispevka. S spremembo Zakona o graditvi objektov je vloga stranskega udeleženca v postopkih bila vrnjena lokalni skupnosti, tako da od maja 2008 MOL neposredno spremlja vloge za graditev objektov na svojem območju. Na povabilo Upravne enote Ljubljana priglasi udeležbo v postopek. Takšnih povabil je okoli 520 na leto, kar pomeni, da je v osnovni bazi že več kot 4500 zapisov. Količina že zadošča za različne analitične operacije, ki so lahko v pomoč pri opredelitvi ciljev ali usmeritev za upravljanje s prostorom.

### 3 Sklep

Občinski prostorski načrt, ki je pravni dokument s tehničnimi vsebinami, je v resnici obsežna digitalna podatkovna zbirka urbanistični stroki lastnih in prinesenih elementov, ki posredno in neposredno



Slika 8: Značilen prikaz v URBINFO.

vplivajo na stvarno-pravne in druge možnosti razpolaganja s prostorom, zemljiščem in nepremičnino. Če se omejimo na občinske prostorske akte (Občinski prostorski načrt), so opredeljene vsebine razdeljene na strateške in izvedbene. Slednje so v osnovi regulacijske. Regulacijsko opredeljeni cilji, ki neposredno vplivajo na razpolagalne možnosti z nepremičninami, so določeni v izvedbenem delu občinskega prostorskega načrta in občinskih podrobnih prostorskih načrtih.

Naštete vsebine so gradniki prostorskega informacijskega sistema OUP in so v svoji osnovi pravne norme, ki opredeljujejo robne pogoje za uživanje lastnine, zasebne ali splošne. Slednja je lahko tudi opredeljena kot javno dobro iz različnih vidikov posameznih pravno utemeljivih specialnih področij (vode, narava, mineralne surovine ipd.). Specialne norme so si lahko tudi navzkrižne, včasih celo izključujoče (tudi Ehrlich s sodelavci 2014).

Področje regulacije nekateri teoretiki pogosto napačno razlagajo kot izključujoče delo arhitekturne ga načrtovanja – torej načrtov fizične stvarnosti, vendar temu ni tako. Že leta 1980 je Vladimir Mušič zapisal, da moramo urbanizem razumeti kot družbeno dejavnost, ki ima za cilj ustvarjanje ustrežnejšega življenjskega in delovnega okolja, kot ekonomsko in družbeno kategorijo, dogovor za estetsko oblikovanje mesta in ne zadnjeje kot način življenja v mestu (Mušič, 1980). V tem smislu je prikazana tehnološka posodobitev izvajanja prostorskega planiranja in urbanistične dejavnosti, kakor tudi prostorskega upravljanja, še jasnejša, saj ne gre le za gradnjo mesta, pač pa dejavnost, ki je vpeta v družbeno stvarnost, kot takšna pa je več-razsežnostna v več kot le fizičnih dimenzijah. Upravljanje prostora in razvojno načrtovanje v tako kompleksnem svetu pa je možno le z ustrezno kompleksnimi orodji.



## 4 Viri in literatura

- Dekleva, J., Kumer, A., Štravs, L., Prelog, M., Konečnik Kunst, M., Lončar, M., Solomun, J., Fatur, M., Ivanič, L., Koselj, N. 2011: Urejanje prostora na občinski ravni. Ljubljana.
- Direktiva INSPIRE. Direktiva 2007/2/EC Evropskega parlamenta in Sveta, z dne 14. 3. 2007 o vzpostavitvi Infrastrukture za prostorske informacije v Evropski uniji – INSPIRE.
- Ehrlich, E., Goričar, J., Gurvitch, G., Habermas, J., Igljučar, A., Luhmann, N., Weber, Žun, A. 2014: Pravo in družba. Ljubljana.
- Mušič, V. 1980: Urbanizem: bajke in resničnost. Ljubljana.
- OPN MOL ID. Odlok o občinskem prostorskem načrtu Mestne občine Ljubljana – izvedbeni del. Uradni list Republike Slovenije 78/2010 s spremembami in dopolnitvami. Ljubljana.
- OPN MOL SD. Odlok o občinskem prostorskem načrtu Mestne občine Ljubljana – strateški del. Uradni list Republike Slovenije 78/2010 s spremembami in dopolnitvami. Ljubljana.
- Pravilnik o prikazu stanja prostora. Uradni list Republike Slovenije 50/2008. Ljubljana.
- Zakon o graditvi objektov. Uradni list Republike Slovenije 102/2004. Ljubljana.
- Zakon o prostorskem načrtovanju. Uradni list Republike Slovenije 33/2007. Ljubljana.
- Zakon o ratifikaciji Konvencije o dostopu do informacij, udeležbi javnosti pri odločanju in dostopu do pravnega varstva v okoljskih zadevah. Uradni list Republike Slovenije 62/2004. Ljubljana.
- Zakrajšek, F. 2015: Konsolidacija sistema za izdelavo lokacijskih informacij in potrdil o namenski rabi. Ljubljana.
- Zakrajšek, F. 2014: Izdelava dopolnitve in izboljšave skupnega prikaza 3D modelov urbanističnih projektov Mestne občine Ljubljana. Ljubljana.

# DOLOČANJE STIČNIH NASELIJ ZA VREDNOTENJE OPREMLJENOSTI NASELIJ S STORITVAMI SPLOŠNEGA IN SPLOŠNEGA GOSPODARSKEGA POMENA

**dr. Janez Nared, dr. David Bole, dr. Rok Ciglič**

Geografski inštitut Antona Melika, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti  
janez.nared@zrc-sazu.si, david.bole@zrc-sazu.si, rok.ciglic@zrc-sazu.si

UDK: 911.37(497.4)

## IZVLEČEK

### **Določanje stičnih naselij za vrednotenje opremljenosti naselij s storitvami splošnega in splošnega gospodarskega pomena**

Namen prispevka je bil preučiti možnosti oblikovanja stičnih naselij za vrednotenje opremljenosti naselij s storitvami splošnega in splošnega gospodarskega pomena. Stična naselja smo opredelili kot skupek morfološko povezanih naselij, ki kljub administrativni razčlenjenosti na več naselij delujejo kot funkcijsko povezana celota. Pri tem smo upoštevali, da imajo naselja večino (> 50 %) svojih prebivalcev na območjih večje zgostitve hišnih števil (> 1,5 hišne številke/ha v polmeru 800 metrov), in so območja večjih zgostitvev nujno neprekinjeno povezana z vsaj še enim tovrstnim območjem drugega naselja. Tako smo določili 56 območij, jih preverili še z vizualnim ogledom poselitve in pregledom storitev ter nabor razširili za dodatnih 29 stičnih naselij. Določanje stičnih naselij se je izkazalo kot uporabno pri ugotavljanju opremljenosti naselij s storitvami splošnega in splošnega gospodarskega pomena, saj je stopnja opremljenosti naselja s storitvami lahko precej drugačna, če upoštevamo skupek več skupaj ležečih naselij, ki se s posameznimi storitvami komplementarno dopolnjujejo.

## KLJUČNE BESEDE

centralna naselja, poselitve, stična naselja, geografski informacijski sistemi, Slovenija, geografija

## ABSTRACT

### **Defining settlement clusters for evaluating how well settlements are equipped with services of general and services of general economic interest**

This chapter studies possibilities for creating settlement clusters in order to evaluate how well equipped the settlements are with services of general and services of general economic interest. Settlement clusters are defined as a group of morphologically connected settlements that operate as a functional whole despite being administratively divided into several settlements. In this regard, it is taken into account that the majority of people in these settlements (> 50%) live in areas of greater concentrations of house numbers (> 1.5 house numbers/hectare within an 800-meter radius) and that the areas of major concentrations are contiguous with at least one area of this type in another settlement. Fifty-six settlements are defined in this way and further checked through visual inspection of how they are settled and an overview of their services. Thus we defined 29 additional settlement clusters. Defining settlement clusters has proven useful in establishing how well equipped the settlements are with services of general interest and general economic interest because the rate of service availability may vary considerably if one takes into account a group of several settlements located together and complementing one another with individual services.

## KEY WORDS

central settlements, settlement (patterns), settlement clusters, geographic information systems, Slovenia, geography

## 1 Uvod

Z vidika prostorskega razvoja in organizacije države je ena ključnih nalog jasna opredelitev sistema poselitve in mreže centralnih naselij, ki prek storitev splošnega (SSP; kot so na primer šolstvo, zdravstvo, javna uprava, sodstvo) in splošnega gospodarskega pomena (SSGP; kot so na primer pošta, telekomunikacije, komunala) zagotavlja enakomerno preskrbo prebivalcev po celotnem državnem ozemlju. Zaradi različnih procesov, kot so centralizacija, reforma lokalne samouprave, digitalizacija s povečano rabo interneta, izgradnja avtocestnega križa, demografske spremembe, suburbanizacija in postsuburbanizacija, terciarizacija gospodarstva, privatizacija služb v javnem interesu in podobno, se potrebe in struktura naselij stalno spreminjajo in je zato treba mrežo centralnih naselij in njihovo opremljenost s SSP in SSGP stalno spremljati in nadgrajevati.

Študije (Vrišer 1967; Kokole 1971; Pak, Batagelj in Hrvatini 1987; Vrišer 1988; Cigale 2002; Drozg 2005; Benkovič Krašovec 2006; Rus, Razpotnik Visković in Nared 2013) so pokazale, da se razmerja med naselji in njihove funkcije spreminjajo, zato je treba za ustrezno izvajanje prostorske politike opremljenost centralnih naselij stalno preverjati. Pri tem je treba upoštevati tudi spremembe strokovnih nazorov, ki so se pri preteklih študijah kazale v različnih metodoloških in teoretskih izhodiščih. V zadnjem času je tako v ospredju razprava o razmerju med kohezivnostjo in konkurenčnostjo (na primer Meijers 2008), razprave o funkcijskih regijah (na primer Karlsson in Olsson 2006; Zavodnik Lamovšek 2011) in funkcijskem policentrizmu (na primer Green 2007).

Dosedanje opredelitve centralnih naselij so temeljile na funkcijah, ki jih ima posamezno naselje, nekatere pa so ob tem dodale še morfološka merila: število prebivalcev, delovna mesta in podobno (na primer Vrišer 1995; Drozg 1999; Ravbar s sodelavci 2001; Burger in Meijers 2012). Razen Drobnetna in sodelavcev (2014), ki so med različnimi morfološko-fiziognomskimi merili upoštevali tudi gostoto stavb s hišnimi številkami, pri čemer je bila njihova analiza namenjena določanju strnjeno pozidanih površin v bolj urbaniziranih območjih, so avtorji naselja obravnavali ločeno, kar pa zaradi delitve funkcij med bližnjimi naselji ni vedno ustrezno, saj lahko več strnjenih naselij deluje kot funkcijsko in morfološko zaokrožena celota.

Ker je gornje dejstvo z vidika preskrbe prebivalcev s SSP in SSGP izjemno pomembno, v prispevku predstavljamo način združevanja naselij v tako imenovana stična naselja. Ta razumemo kot skupek morfološko povezanih naselij, ki kljub administrativni razčlenjenosti na več naselij delujejo kot funkcijsko povezana celota. Njihova vloga je pomembna zlasti takrat, ko za opredelitev centralnih naselij izhajamo iz števila funkcij ali prebivalcev posameznega kraja. Majhna sosednja naselja z majhnim številom funkcij v tem primeru ne bi bila prepoznavna kot centralna naselja, čeprav imajo tamkajšnji prebivalci zaradi prostorske bližine naselij in delitve funkcij med njimi zagotovljeno dobro oskrbo s SSP in SSGP. Podoben način združevanja sicer že poznamo, a večinoma le za določanje mestnih naselij. Statistični urad Republike Slovenije je s socioekonomskimi merili najprej izločil mestna naselja in jim nato na podlagi fiziognomskih meril priključili sosednja naselja, ki se postopno vraščajo v mesto. Ta naselja so poimenovali »naselja mestnega območja« (Pavlin s sodelavci 2003). Podobno združevanje za vsa centralna naselja, ne le tista, ki ji lahko opredelimo kot »mesta«, želimo narediti tudi mi.

Pri tem si zastavljamo sledeča vprašanja:

- Kako lahko opredelimo stična naselja?
- Kakšne težave nastanejo pri opredeljevanju stičnih naselij in kako jih lahko odpravimo?
- Kakšna je uporabnost geografskih informacijskih sistemov za opredeljevanje stičnih naselij?

## 2 Koncept in metode

Zasnovali smo metodološki postopek, s katerim smo ugotavljali, katera naselja bi lahko zaradi medsebojne prostorske povezanosti vključili v stična naselja, ki delujejo praktično kot eno naselje. S postopkom smo ugotovili, katera naselja imajo večino (> 50 %) svojih prebivalcev na območjih večje zgotovitve hi-

šnih števil ( $> 1,5$  hišne številke/ha v polmeru 800 metrov), pri čemer so morala biti območja večjih zgostitev nujno neprekinjeno povezana z vsaj še enim tovrstnim območjem drugega naselja.

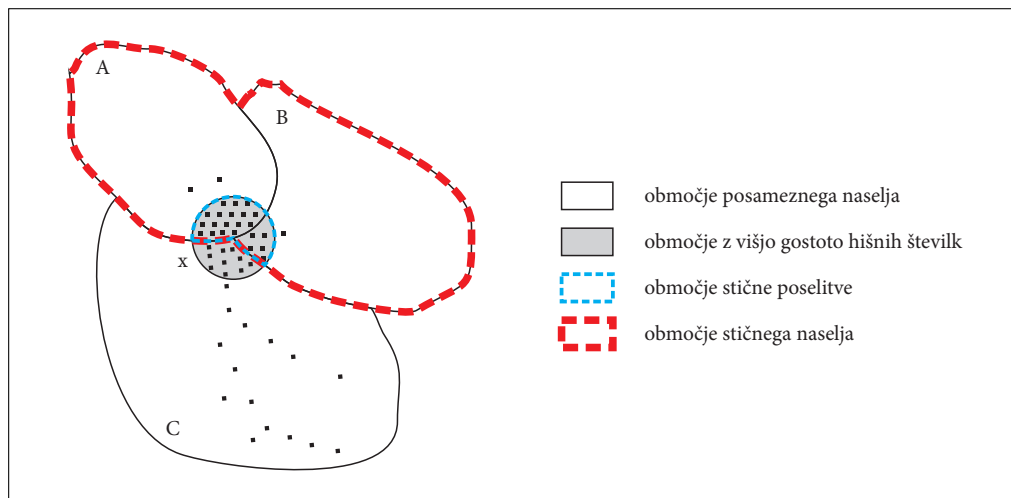
Za ugotavljanje stičnosti naselij smo uporabili prostorske podatke o lokaciji hišnih števil, območjih posameznih naselij kot temeljnih prostorskih enot Geodetske uprave Republike Slovenije (Register ... 2016) ter podatke Centralnega registra prebivalcev (Centralni ... 2016). Podatke o hišnih številkah ter podatke centralnega registra prebivalcev smo s pomočjo skupnih identifikatorjev lahko povezali ter tako za vsako hišno številko določili število stalnih prebivalcev, kar smo uporabili kasneje v procesu. Najprej smo izračunali gostoto hišnih števil, s katero smo ugotavljali, kje so območja z neprekinjeno poselitvijo, ki lahko nakazujejo na sklenjeno poselitev oziroma območje enega stičnega naselja.

Za izračun gostote hišnih števil smo določili ustrezen polmer. V literaturi ni povsem enotnega priporočila, s kakšnim polmerom naj se računa gostota poselitve ali prebivalstva (na primer Tiran 2013; Drobne s sodelavci 2014). Na podlagi več preizkusov z različnimi dolžinami (preizkusili smo polmere z nekaj stometrskimi ter nekaj kilometrskimi dolžinami) in na podlagi literature (Bassetlaw district council 2013) smo se odločili za polmer 800 m.

Ker je značilnost stičnega naselja neprekinjena strnjena poselitev z višjo gostoto, smo po izdelavi rastrskega sloja gostote hišnih števil postavili mejo med območjema z visoko in nizko gostoto. Po preizkušanju in s pomočjo literature (Drobne s sodelavci 2014; Pogačnik 1992) smo za določanje območij stičnih naselij izbrali območja z že omenjeno gostoto 1,5 hišne številke/ha.

Po izračunu gostot smo z vektorskih točkovnih podatkov prešli na rastrski podatek. Pri tem je bilo treba določiti ločljivost rastrskega sloja. Odločili smo se za celico z velikostjo 50 m. Velikost celic na vsebinski rezultat nima pravega vpliva, le pri manjši ločljivosti so na koncu določena stična naselja zarisana z manj robatimi linijami.

Območja z višjo gostoto ( $> 1,5$  hišne številke/ha) smo prekrili s slojem območij naselij ter s slojem centroidov hišnih števil, za katere smo imeli podatek, koliko prebivalcev živi na posameznem naslovu. Na temelju teh treh podatkovnih slojev smo ugotavljali, koliko prebivalcev posameznega naselja živi na območjih z višjo gostoto hišnih števil. Če je na nekem območju višje gostote, ki je moralo segati na območje vsaj dveh naselij, živelo več kot 50 % prebivalcev vsakega posameznega vključenega



Slika 1: Shematski prikaz treh sosednjih naselij. Naselji A in B imata na območju večje gostote hišnih števil  $x$  vsaka po več kot 50 % vseh prebivalcev in zato tvorita stično naselje (označeno s prekinjeno rdečo črto). Naselje C pa ima na takem območju le manjši delež prebivalcev, zato ni vključeno v stično naselje in ostaja samostojno.

naselja, smo to območje označili kot območje stične poselitve. Naselja, ki so bila s svojim območjem vključena v območje stične poselitve, so bila nato označena kot stično naselje v njihovem celotnem administrativnem obsegu (slika 1).

### 3 Rezultati

Po predstavljeni metodi smo določili 56 območij, kjer je gostota hišnih številka višja od 1,5 hišne številke na hektar, pri tem pa so bila posamezna prostorsko sklenjena območja sestavljena iz območij dveh ali več naselij. V vsakem vključenem naselju je na omenjenem območju živelo več kot 50 % prebivalcev naselja (slika 2).

Vseh 56 naselij smo nato preverili z vizualnim ogledom poselitve in pregledom storitev na področju šolstva in uprave (preglednica 1). Ugotovili smo, da smo 51 stičnih naselij določili pravilno, pri štirih naseljih (Prevalje–Ravne na Koroškem, Dol pri Ljubljani, Trebnje, Dornberk) smo dodali še posamezna

*Preglednica 1: Seznam stičnih naselij (56 naselij) in njihovo vrednotenje z vidika uporabnosti za prikaz opremljenosti naselij s storitvenimi dejavnostmi.*

ime največjega oziroma največjih dveh naselij	opomba	ime največjega oziroma največjih dveh naselij	opomba
Gornja Radgona	potrjeno	Medvode	potrjeno
Murska Sobota	potrjeno	Zagorje ob Savi	potrjeno
Muta	potrjeno	Domžale–Kamnik	potrjeno
Lendava	potrjeno	Kanal	potrjeno
Maribor	potrjeno	Litija	potrjeno
Miklavž na Dravskem polju	potrjeno	Sevnica	potrjeno
Skoke	potrjeno	Brezovica pri Ljubljani	potrjeno
Rače	potrjeno	Škofljica	potrjeno
Jesenice	potrjeno	Šmarje – Sap	potrjeno
Zgornja Polskava	potrjeno	Vrhnika	potrjeno
Ormož	potrjeno	Grosuplje	potrjeno
Žirovnica	potrjeno	Nova Gorica	potrjeno
Zgornje Gorje	potrjeno	Miren	potrjeno
Radovljica	potrjeno	Ajdovščina	potrjeno
Tržič	potrjeno	Straža	potrjeno
Naklo	potrjeno	Ribnica	potrjeno
Polzela	potrjeno	Kočevje	potrjeno
Cerklje na Gorenjskem	potrjeno	Ankaran	potrjeno
Žalec	potrjeno	Spodnje Škofije	potrjeno
Šenčur	potrjeno	Črnomelj	potrjeno
Prebold	potrjeno	Dekani	potrjeno
Rogaška Slatina	potrjeno	Izola	potrjeno
Kranj	potrjeno	Piran	potrjeno
Komenda	potrjeno	Prevalje–Ravne na Koroškem	dopolnjeno
Tolmin	potrjeno	Dol pri Ljubljani	dopolnjeno
Škofja Loka	potrjeno	Trebnje	dopolnjeno
Trbovlje	potrjeno	Dornberk	dopolnjeno
Kisovec	potrjeno	Gradišče–Smrjene	izločeno

samostojna naselja, pri stičnem naselju Gradišče pa smo ugotovili, da po računski metodi ustreza stičnemu naselju, a zaradi odsotnosti kakršnihkoli storitev nima na vrednotenje porazdelitve storitvenih dejavnosti nobenega vpliva oziroma ni relevantno.

Preverili smo računsko določena območja in preostala območja, kjer bi lahko določili stična naselja zaradi drugih vzrokov. Najpogostejši vzrok je manjša gostota stavb, značilna za bolj razpršena in razložena naselja, zlasti v slovenskih gričevjih in hribovjih. Najbolj značilen primer dveh stičnih naselij, ki delujeta kot eno samo centralno naselje, sta naselji Zgornja Kungota in Plintovec. Administrativna meja naselij poteka ob cesti, kjer je na obeh straneh manjša zgostitev stavb, a obe naselji imata precej enakomerno in razpršeno poselitev po svojem celotnem ozemlju (slika 3). Zaradi tega smo analizirali splošne demografske značilnosti, gospodarske in storitvene dejavnosti in dostopnost ter določili dodatna stična naselja, skupaj 29, ki zaradi različnih vzrokov niso bila določena računsko (preglednica 2, slika 2). Kot že omenjeno, gre večinoma za podeželska območja v gričevnatem in hribovitem svetu, zlasti na vzhodu države. Na splošno se je izkazalo, da je bilo pri manjših podeželskih naseljih potrebnih več popravkov, medtem ko je metoda razmeroma zanesljivo določala stična naselja v večjih strnjeno poseljenih naseljih mestnega značaja.

## 4 Diskusija – kritika in uporabnost v prihodnje

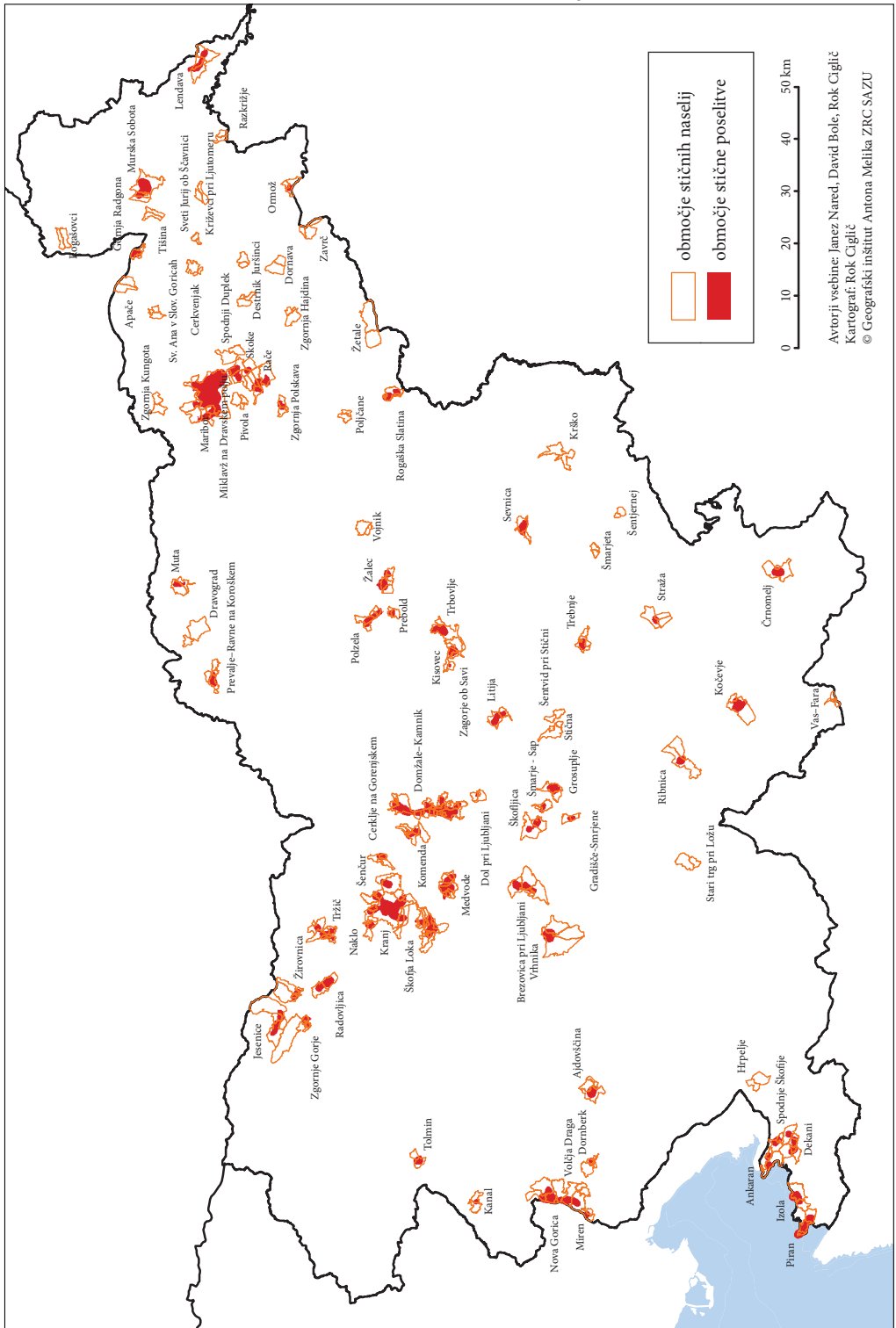
Določanje stičnih naselij se je izkazalo kot uporabno pri ugotavljanju opremljenosti naselij s SSP in SSGP. Če upoštevamo posamezna naselja, je njihova stopnja opremljenosti s storitvami (ali ponudba storitev) lahko precej drugačna, kot če upoštevamo skupek sosednjih naselij, ki se s posameznimi storitvami dopolnjujejo (slika 4).

*Preglednica 2: Seznam stičnih naselij, ki so bila dodatno prepoznana glede na splošne geografske značilnosti.*

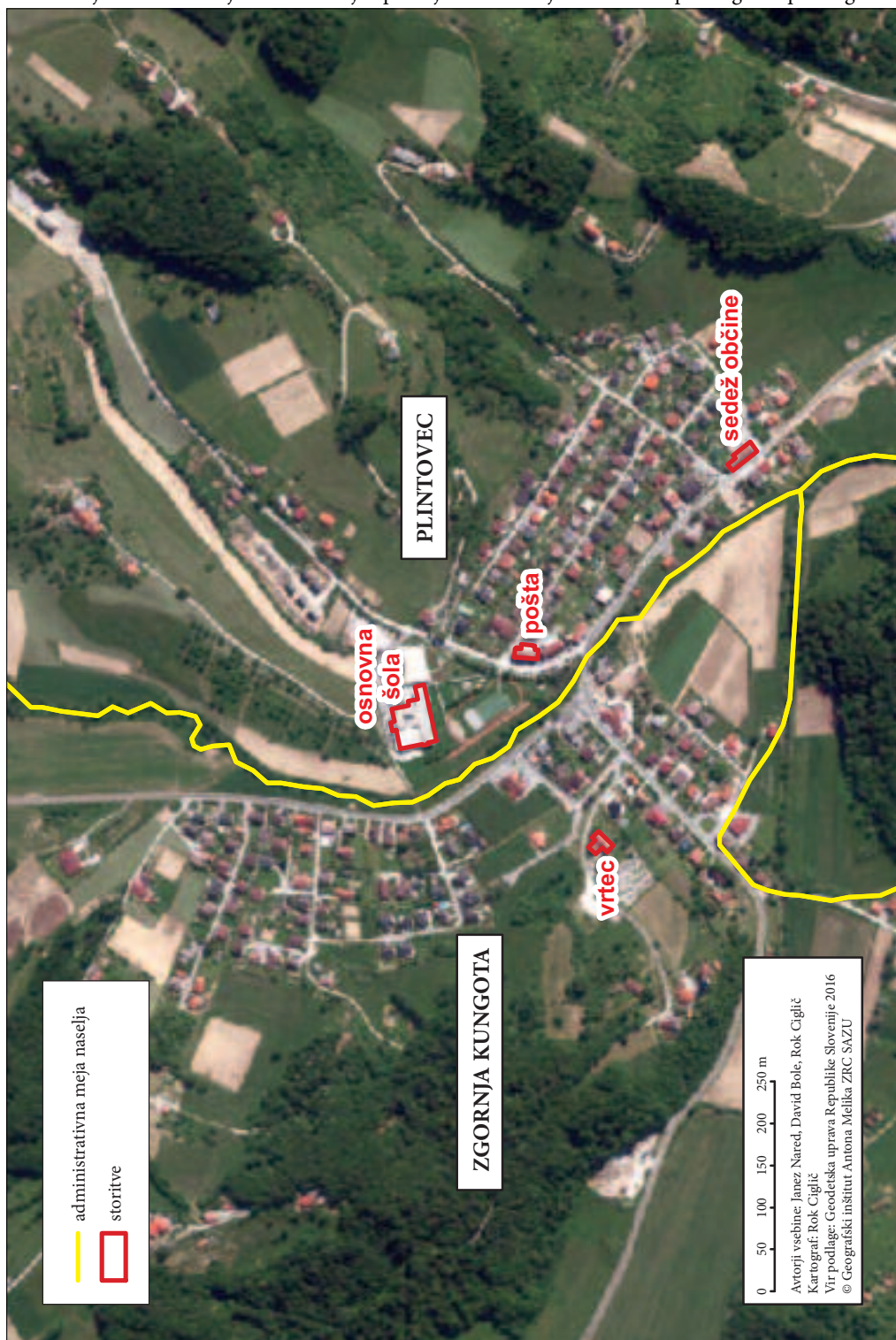
ime stičnega naselja	ime stičnega naselja
Zavrč	Pivola
Sveti Jurij ob Ščavnici	Poljčane
Tišina	Zgornja Hajdina
Križevci pri Ljutomeru	Dravograd
Razkrižje	Vojnik
Rogašovci	Krško
Cerkvenjak	Vas-Fara
Žetale	Šmarjeta
Dornava	Šentjernej
Juršinci	Stična
Destrnik	Šentvid pri Stični
Apače	Stari trg pri Ložu
Sveta Ana v Slovenskih Goricah	Hrpelje
Zgornja Kungota	Volčja Draga
Spodnji Duplek	

*Slika 2: Območja z višjo gostoto hišnih števil, ki so sestavljena iz vsaj dveh naselij in kjer prebiva več kot 50 % prebivalcev vsakega vključenega naselja (območja stične poselitve), ter območja stičnih naselij. ► (str. 198)*

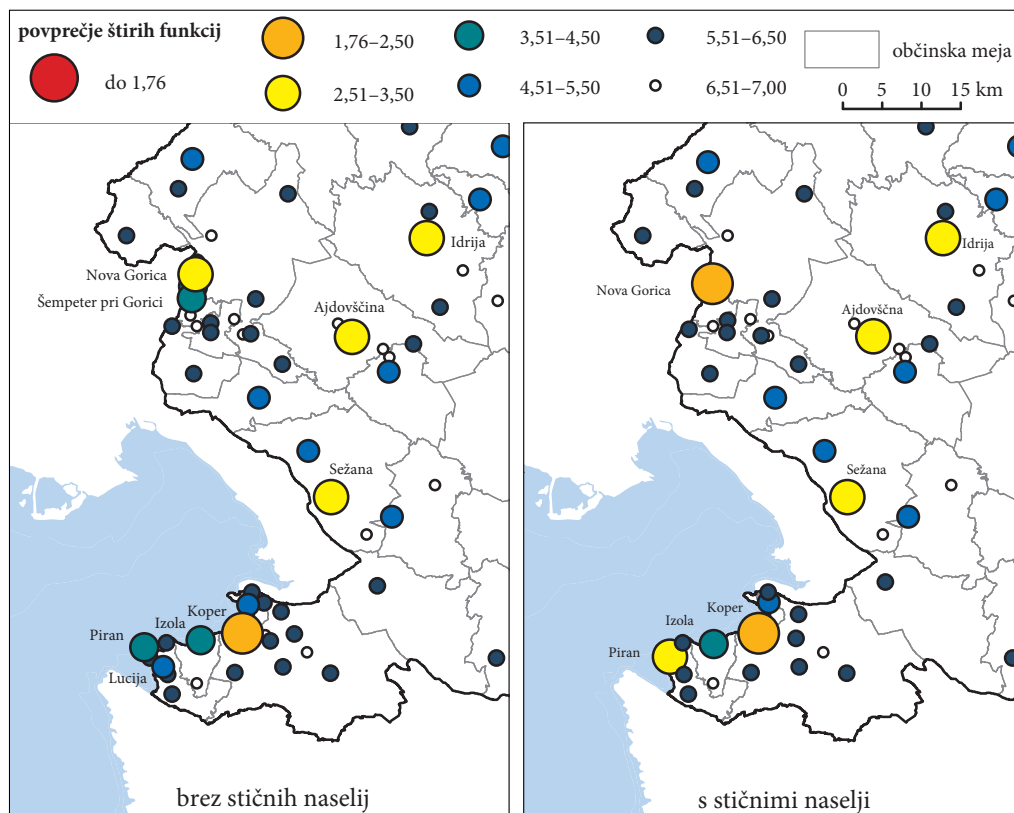
*Slika 3: Primer ročno dodanega stičnega naselja. ► (str. 199)*



Avtorji vsebine: Janez Nared, David Bole, Rok Ciglič  
 Kartograf: Rok Ciglič  
 © Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU







Slika 4: Primer okolice Nove Gorice in Pirana. Levo prikaz povprečne stopnje storitev (upoštevaje sodstvo, šolstvo, zdravstvo, upravo) posameznih naselij, desno prikaz povprečne stopnje storitev z upoštevanjem stičnih naselij.

Določanje stičnih naselij se je izkazalo kot ustrezno tudi pri določanju obsega strnjenege mestnega območja in bi v bodoče lahko dopolnilo uradno statistično opredeljevanje mestnih naselij v Sloveniji. Metoda je na primer prepoznala obsežno območje poselitve med Domžalami in Kamnikom kot sub(urbanizirano) celoto, na kar opozarjajo tudi drugi avtorji (Pelc 2015). Združena so tudi nekatera druga bližnja mestna naselja, kot Piran–Portorož–Lucija in Nova Gorica–Šempeter.

Težava določanja stičnih naselij je predvsem subjektivnost, saj je treba določiti več parametrov (na primer polmer za izračun gostote, določitev kontinuiranosti). Določitev parametrov mora biti primerne za območje, ki ga preučujemo, saj so znane razlike med bolj mestnimi in bolj podeželskimi območji. Slovenija, ki ima več kot 6000 naselij in tudi na evropski ravni zelo raznolike pokrajine (Ciglič in Perko 2013), je zelo raznolika tudi glede značilnosti poselitve, zato je določitev parametrov, primernih za celotno državo, izredno zahtevno opravilo. Ker je največ stičnih naselij izpadlo na območjih z značilno razpršeno poselitvijo, bi morda lahko v bodoče parametre določali regionalno glede na tip poselitve. V gričevjih vzhodne Slovenije gostote enostavno ne morejo dosegati istih pragov kot na ravninah, zato je smiselno ta parameter ustrezno znižati. Obratno se lahko izkaže, da je prag 1,5 hišne številke/ha za območje med Ljubljano in Kamnikom postavljen prenizko za ta strnjen (sub)urbaniziran tip poselitve.

Izpostaviti velja tudi problem baze podatkov Evidenca hišnih številka za določanje gostote. Izkazalo se je, da večina industrijskih, kmetijskih in podobnih objektov nosi le eno hišno številko. Na primeru

naselij Lož in Stari trg pri Ložu se je zgodilo, da je obsežna industrijska hala na vmesnem območju med naseljema imela le eno hišno številko, čeprav predstavlja neprekinjeno pozidano površino. Zaradi nizke gostote hišnih števil na vmesnem območju ti naselji nista avtomatsko postali stični, čeprav to dejansko sta. Podobno se je zgodilo še v nekaterih drugih primerih: naselji Hrpelje in Kozina ločuje industrijska cona, naselji Krško in Leskovec pri Krškem pa obrtno-nakupovalna cona ter nekatere velike javne ustanove (zdravstveni dom, šola ...).

Omenjene posebnosti je treba upoštevati pri tolmačenju rezultatov in nadaljnji uporabi te metode.

## 5 Sklep

Prispevek želi z uporabo jasno opredeljenih meril oblikovati stična naselja, s pomočjo katerih lahko določamo opremljenost skupine naselij s storitvami splošnega in splošnega gospodarskega pomena.

Stična naselja smo opredelili kot skupek morfološko povezanih naselij, ki kljub administrativni razčlenjenosti na več naselij delujejo kot funkcijsko povezana celota. Pri tem smo za njihovo določanje opredelili sledeča merila: minimalna gostota poselitve nad 1,5 hišne številke/ha ob hkratni vključenosti vsaj 50 % prebivalcev vsakega vključenega sosednjega naselja v območju zgoščitve, pri čemer je bil polmer za izračun gostote 800 m.

Tovrstno opredeljevanje stičnih naselij se je izkazalo kot uporabno, saj ob upoštevanju posameznih naselij ne bi ustrezno zaznali opremljenosti območja s storitvami splošnega in splošnega gospodarskega pomena. Z združitvijo sosednjih območij v eno enoto smo povezali tudi storitve, ki si jih naselja delijo. Tako so stična naselja dobila višjo stopnjo centralnosti, kot bi jo vsako naselje posebej, saj smo upoštevali dejansko dostopnost do storitve in ne zgolj opremljenosti krajev z vidika njihovih administrativnih meja.

Ključna težava pri opredeljevanju stičnih naselij je subjektivnost, saj je treba določiti več parametrov, ki morajo biti čim bolj prilagojeni preučevanemu območju. Izkazalo se je namreč, da s to metodologijo nismo ustrezno zaznali stičnih naselij v območjih z razpršeno poselitvijo, podobno težavo pa smo imeli tudi, kadar je med naseljema večji industrijski ali kmetijski obrat, ki naselji povezuje v celoto, a ima le eno hišno številko, zaradi česar ne zaznamo ustrezno gostote stavb. S tega vidika so geografski informacijski sistemi primeren pripomoček za opredeljevanje stičnih naselij, pri čemer pa se je treba zavedati pomanjkljivosti in jih ustrezno odpraviti. V konkretnem primeru smo to izvedli s pregledom celotnega slovenskega ozemlja, v bodoče pa bi lahko razmislili o regionalno opredeljenih merilih, ki bodo natančneje določala regionalne posebnosti.

Stična naselja, kot jih opredeljuje prispevek, so nov kamenček v mozaiku študij o centralnih naseljih v Sloveniji in bodo v bodoče lahko pogosteje uporabljena pri prostorskih analizah.

## 6 Zahvala

Študija je bila izvedena v okviru projekta Policentrično omrežje središč in dostopnost prebivalstva do storitev splošnega in splošnega gospodarskega pomena, ki ga je financiralo Ministrstvo Republike Slovenije za okolje in prostor.

## 7 Viri

Bassetlaw district council, 2013: Accessibility study. Medmrežje: <https://www.bassetlaw.gov.uk/media/105195/BSAccessibilityStudy.pdf> (10. 2. 2016).

Benkovič Krašovec, M. 2006: Vloga centralnih naselij prve in druge stopnje pri razvoju slovenskega podeželja. Doktorska disertacija, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.

- Burger, M., Meijers, E. 2012: Form Follows Function? Linking Morphological and Functional Polycentricity. *Urban Studies* 49-5. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/0042098011407095>
- Centralni register prebivalstva. Ministrstvo za notranje zadeve Republike Slovenije. Ljubljana, 2016. Medmrežje: [http://www.mnz.gov.si/si/mnz\\_za\\_vas/osebni\\_in\\_tajni\\_podatki/osebni\\_podatki\\_iz\\_crp/](http://www.mnz.gov.si/si/mnz_za_vas/osebni_in_tajni_podatki/osebni_podatki_iz_crp/) (10. 2. 2016).
- Cigale, D. 2002: Centralna naselja v Sloveniji in njihova vplivna območja v letu 1999. *Geografski vestnik* 74-1.
- Ciglič, R., Perko, D. 2013: Europe's landscape hotspots. *Acta geographica Slovenica* 53-1. DOI: <http://dx.doi.org/10.3986/AGS53106>
- Drobne, S., Žaucer, T., Foški, M., Zavodnik Lamovšek, A. 2014: Strnjenost pozidanih površin kot merilo za določanje območij mestnih naselij. *Geodetski vestnik* 58-1.
- Drozg, V. 1999: Opredelitev naselij, upravičenih do statusa mesto: ekspertiza. Vlada Republike Slovenije. Ljubljana.
- Drozg, V. 2005: Koncepti policentrične ureditve Slovenije. *Dela* 24.
- Green, N. 2007: Functional polycentricity: A formal definition in terms of social network analysis. *Urban studies* 44-11. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00420980701518941>
- Karlsson, C., Olsson, M. 2006: The identification of functional regions: theory, methods, and applications. *Annales of Regional Sciences* 40. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00168-005-0019-5>
- Kokole, V. 1971: Centralni kraji v SR Sloveniji, problemi njihovega omrežja in njihovih gravitacijskih območij. *Geografski zbornik* 12.
- Meijers, E. 2008: Measuring Polycentricity and its Promises. *European Planning Studies* 16-9. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/09654310802401805>
- Pak, M., Batagelj, M., Hrvatina, M. 1987: Problematika centralnih naselij na Notranjskem. *Notranjska, Zbornik* 14. zborovanja slovenskih geografov. Postojna.
- Pavlin, B., Milenkovič, A., Klasinc, S., Grm, B. 2003: Mestna naselja v Republiki Sloveniji. Ljubljana.
- Pelc, S. 2015: Mestno prebivalstvo Slovenije. *Koper*.
- Pogačnik, A. 1992: Urejanje prostora in varstvo okolja. Ljubljana.
- Ravbar, M., Vrišer, I., Plut, D., Šircelj, V., Cigale, D. 2001: Omrežje naselij in prostorski razvoj Slovenije. *Elaborat*, Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU. Ljubljana.
- Register prostorskih enot. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2016. Medmrežje: [http://www.e-prostor.gov.si/si/zbirke\\_prostorskih\\_podatkov/nepremicnine/register\\_prostorskih\\_enot/](http://www.e-prostor.gov.si/si/zbirke_prostorskih_podatkov/nepremicnine/register_prostorskih_enot/) (10. 2. 2016).
- Rus, P., Razpotnik Viskovič, N., Nared, J. 2013: Upravljanje območij z vidika sprememb funkcijskih zaledij centralnih krajev: primer Gorenjske. *Gorenjska v obdobju globalizacije*. Ljubljana.
- Tiran, J. 2013: Vpliv izbora metode na vrednost gostote prebivalstva. *Geografski vestnik* 85-1.
- Vrišer, I. 1967: O centralnih naselji. *Geografski vestnik* 39.
- Vrišer, I. 1988: Centralna naselja v SR Sloveniji leta 1987. *Geografski zbornik* 28.
- Vrišer, I. 1995: Opredelitev mest in mestnih občin v Sloveniji. *Dela* 11.
- Zavodnik Lamovšek, A. (ur.) 2011: Funkcionalne regije – izziv prihodnjega razvoja Slovenije. Ljubljana.

# IZRIS DINAMIČNIH SPLETNIH TEMATSKIH KART NA STRANI ODJEMALCA S PROSTORSKIM IDENTIFIKATORJEM

**dr. Tomaž Žagar**

Geodetski inštitut Slovenije

tomaz.zagar@gis.si

UDK: 528.9:004.738.5

## IZVLEČEK

### **Izris dinamičnih spletnih tematskih kart na strani odjemalca**

Predstavljena je manj pogosto uporabljena metoda spletnih GIS-aplikacij za izris tematskih kart na strani odjemalca. Karte so izrisane s pomočjo prostorskega identifikatorja, ki je barvno kodiran v slikovnih elementih iz strežnika WMS pridobljene slike. Glede na vrednosti spremenljivke, ki jo želimo prikazati, se nato ta slika prostorskih identifikatorjev na strani odjemalca izriše v tematsko karto. Ta metoda omogoča učinkovito rabo predpripravljenih slikovnih podlag, kar vodi k večji odzivnosti aplikacije pri izrisovanju in spreminjanju barvnih lastnosti tematskih kart, hkrati pa razbremeni spletni strežnik, ker se glavni izrisa odvija v spletnem brskalniku. Dodatna prednost predstavljene metode je lažja in bolj predvidljiva razširljivost s poljubnimi prostorskimi sloji.

## KLJUČNE BESEDE

spletna kartografska aplikacija, dinamične tematske karte, prostorski identifikator, spletni kartografski servis, HTML5, izris na strani odjemalca

## ABSTRACT

### **Client side dynamic thematic maps rendering**

Less frequently used web GIS applications method based on the client side thematic maps rendering is presented. The maps are rendered according to the WMS image pixel value which encodes the spatial identifier. According to the values of the mapped variable is this image of spatial identifiers then on the client side transformed to the thematic map. Image for spatial identifiers is transformed to the thematic map on the client side according to the values of the mapped variable. This method enables efficient use of cached images and leads to the responsive application when rendering and changing the thematic map properties. The majority of map processing is moved from the server to the client thus alleviating the server load substantially. The additional advantage of this method is greater and more predictable scalability when adding different spatial layers.

## KEY WORDS

web mapping application, dynamic choropleth maps, spatial identifier, web map service, HTML5, client side rendering

## 1 Uvod

Spletni kartografski servis (*Web Map Service* – WMS) je standardni način (OGC 2006) posredovanja kart po spletu, ki jih na zahtevo odjemalcev izdelajo spletni GIS-strežniki (Šumrada 2011). Ta mednarodni standard določa dve obvezni operaciji (OGC 2006): ukaz *GetCapabilities* za pridobitev metapodatkov spletnega servisa in ukaz *GetMap* za pridobitev navadno rastrske slike karte, na primer v formatu PNG, TIF ali GIF in manj pogosto v vektorskem formatu, na primer SVG. Ukaze za WMS lahko podajamo ročno preko vrstice URL (naslova spletne strani) standardnih spletnih brskalnikov, v primeru spletnih aplikacij pa to počne programska logika aplikacije.

Spletne kartografske aplikacije in razvojna okolja (na primer Google Maps API, OpenLayers, Leaflet) pogosto uporabljajo sistem slikovne piramide, kjer je v brskalniku prikazana karta za vsako povečavo posebej razdeljena na manjše slike (navadno velikosti 256 krat 256 slikovnih pik). Ta način prikaza omogoča učinkovito uporabo predpomnilnika in progresivno nalaganje posameznih sličic, poleg tega pa je enostaven za implementacijo v različnih aplikacijah (How web maps work 2016). Standardna osnova za slikovne piramide so navadno WMTS (*Web Map Tile Service*) spletni servisi (OGC 2010), ki glede na predpisano strukturo strežejo predpripravljene sličice.

Sloji WMS postanejo uporabni za tematsko kartografijo šele z uporabo ustreznih pravil oblikovanja, ki jih pogosto določa OGC standard SLD (OGC 2007). SLD je zapisan v formatu XML in določa na primer kakšne barve naj bo poligon glede na vrednost določenega atributa in kot tak skupaj z WMS predstavlja idealno rešitev za prikaz dinamičnih podatkov (OGC 2010) ali za prikaz uporabniško oblikovanih tematskih kart, kar so lahko procesorsko precej zahtevne operacije. Po drugi strani pa WMTS omogoča implementacijo z enostavnim spletnim strežnikom, ki streže predpripravljene sličice, kar zahteva bistveno manj procesorskega časa.

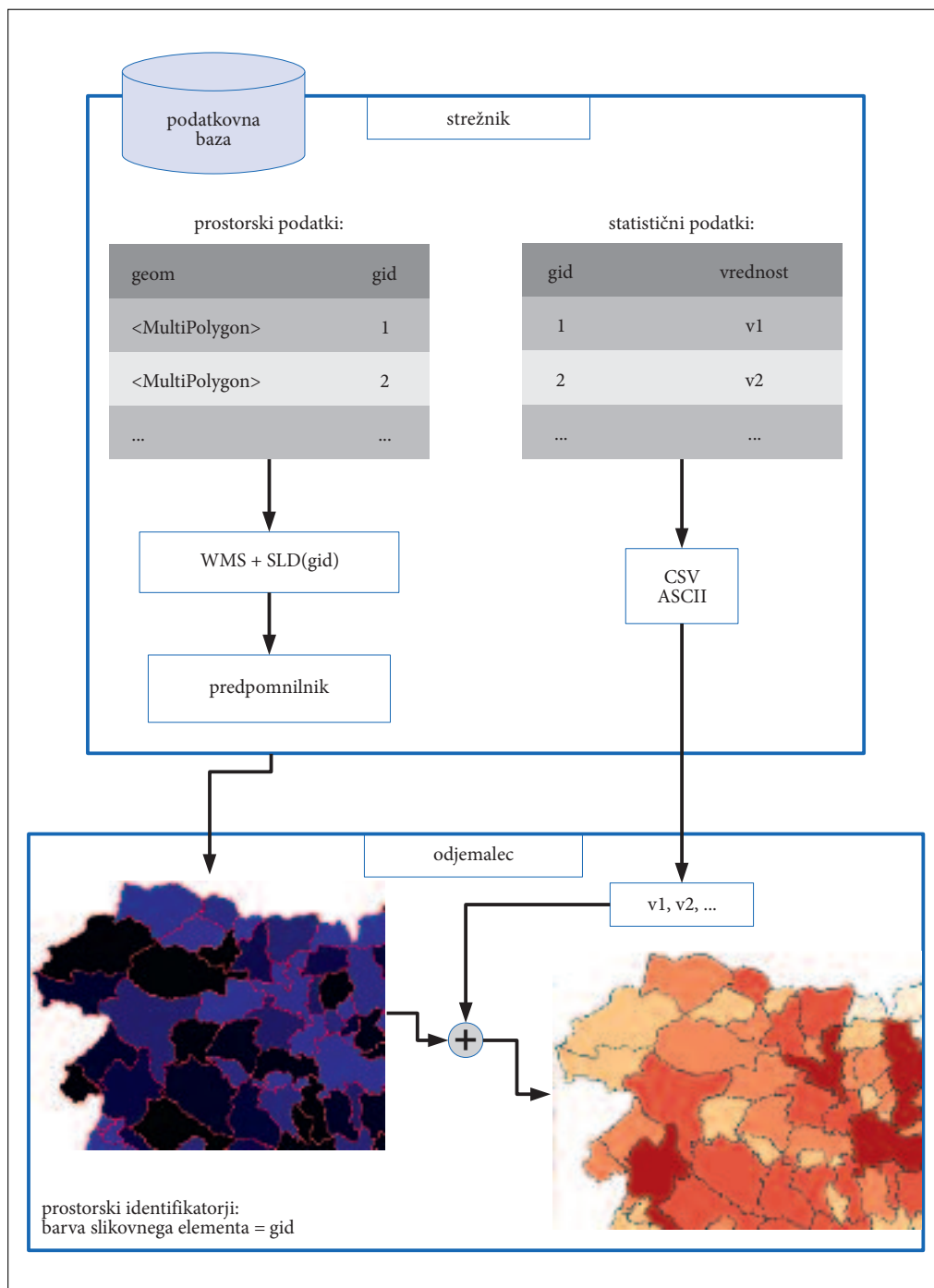
Za prikaz tematskih spletnih kart se tako najpogosteje uporablja WMS, oblikovan s pravili SLD. V tem primeru se glavnina postopka izvede na strežniku, brskalnik pa samo prikaže izdelano sliko. Drugi, prav tako pogosto uporabljen pristop, je izris tematske karte v brskalniku na osnovi s strežnika pridobljenih vektorskih podatkov. Tretji, manj pogosto uporabljan način izrisa, temelji na predpripravljenih rastrskih slikah, v katerih je zapisan prostorski identifikator posameznega slikovnega elementa (Zhao in Shneiderman 2002; Hwang 2013). Tudi tu poteka glavnina izrisa na strani odjemalca. Ta prispevek se osredotoča na način izvedbe te metode, ki je implementirana v STAGE – spletno GIS aplikacijo Statističnega urada Republike Slovenije za prikazovanje in posredovanje geoprostorskih statističnih podatkov (Kuzma in Žagar 2014; STAGE 2016).

## 2 Metode dela

Temelj izrisa tematske karte na strani odjemalca je v sliki zapisan prostorski identifikator. Vsakemu slikovnemu elementu torej priredimo barvo, ki ustreza enoličnemu identifikatorju prostorske enote, v kateri se ta slikovni element nahaja (slika 1, prostorski identifikatorji). Do slike prostorskih identifikatorjev lahko pridemo z ustreznim oblikovanjem SLD preko servisa WMS (slika 1). Izdelava te slike je procesorsko najzahtevnejši del te metode, zato izdelane slike shranimo v predpomnilnik oziroma na disk. Na ta način lahko zapišemo 16.777.216 (vsak od treh barvnih kanalov RGB lahko zavzame 256 vrednosti) različnih vrednosti, če pa uporabljamo še vrednost za prosojnost (slike shranjene v RGBA barvnem prostoru) imamo na voljo 4.294.967.296 različnih vrednosti.

Za izris tematske karte potrebujemo še vrednosti spremenljivke po posameznih prostorskih enotah (slika 1, statistični podatki), ki jih dobimo iz ločenega podatkovnega toka v obliki zaporednih vrednosti ločenih z vejico, kjer vrstni red določa, na kateri identifikator se posamezna vrednost navezuje.

Tretji korak metode predstavlja sam izris karte na strani odjemalca. V tem koraku je na temelju slike prostorskih identifikatorjev treba izdelati novo sliko, kjer barve identifikatorjev zamenjamo



Slika 1: Metoda izrisa tematske karte na strani odjemalca.

z barvami vrednosti spremenljivke glede na klasifikacijo oziroma legendo tematske karte (slika 1, znak plus v krogu).

Pred uveljavitvijo standarda HTML5 izris na strani odjemalca ni bil možen neposredno v brskalniku, ampak le preko vtičnikov (na primer *Flash ali Java applet*) in v namenskih aplikacijah GIS. Za neposreden izris v brskalniku brez uporabe tehnologij HTML5 sicer obstaja način, ki pa je relativno počasen in zajema pretvorbo slike v *base64* znakovni niz (Parsing Base64 ... 2009). Sedanji spletni brskalniki imajo implementiran standard HTML5, ki preko *canvas* elementa omogoča enostavno in hitro manipuliranje s slikovnimi elementi, seveda pa morajo slike še vedno upoštevati varnostno shemo HTTP dostopa oziroma izvirati iz iste domene.

### 3 Sklep

Glavna prednost predstavljene metode je učinkovita uporaba predpomnilnika, slikovno piramido prostorskih identifikatorjev je treba namreč izdelati le enkrat, prikaz tematske karte prostorskih enot te slikovne piramide v brskalniku pa so le na njeni osnovi izrisane slike glede na različne vrednosti spremenljivk. Ta pristop omogoča veliko prilagodljivost uporabniku, saj lahko le-ta poljubno spreminja barvne lestvice in legendo tematske karte, ne da bi pri tem obremenjeval strežnik, kar bistveno pripomore k odzivnosti aplikacije. Posledica uporabe predpomnilnika oziroma predizdelanih slik je minimalna obremenitev relativno enostavne strežniške infrastrukture.

Prednost rastrskih metod izrisa tematskih kart pred vektorsko zasnovanimi metodami se kaže predvsem v velikosti prenosa prostorskih podatkov za prvi izris, ki je še toliko večja, če za vektorske podatke ne uporabljamo generalizacije. Na primer sloj občin Slovenije, zapisan v formatu GeoJSON, je velik nekaj MB, odvisno od števila uporabljenih decimalk za koordinate, in če želimo ta sloj brez predhodne obdelave in v celoti prikazati v brskalniku, moramo teh nekaj MB tudi (naenkrat) naložiti s spleta, medtem ko slika prostorskih identifikatorjev občin (format PNG, širina 1920 slikovnih pik, višina 1080 slikovnih pik) zavzema nekaj manj kot 400 kB. Res da je slika prostorskih identifikatorjev odvisna od izbrane povečave in je skupno prenesenih podatkov dejansko več kot bi jih bilo v primeru vektorske metode, vendar pa je vsaj začetno nalaganje v primeru predstavljene metode bistveno manjše oziroma hitrejše. Še bolj je ta razlika vidna v primeru 100 metrske neenakomerno poseljene mreže, kjer je vektorska datoteka GeoJSON za nekaj več kot 159.000 celic velika več kot 300 MB oziroma nekaj več kot 20 MB v skrčeni obliki (ki pa zopet zahteva nekaj procesorskega časa na strani odjemalca za razširitev). Tudi izris tolikšnega števila vektorskih elementov vzame brskalniku občutno veliko časa, vsekakor več kot enostavna obdelava in prikaz slike velikosti nekaj 100 kB. Dodatna prednost predstavljene metode je tudi večja in bolj predvidljiva razširljivost s poljubnimi prostorskimi sloji, ker so slike prostorskih identifikatorjev približno enako velike, ne glede na kompleksnost predstavljenega sloja.

Glavni pomislek pred uporabo te metode v spletnih GIS aplikacijah je vprašanje procesorske zahtevnosti oziroma hitrosti izrisa v brskalniku, saj je za izris karte treba prebrati in spremeniti barvne vrednosti vsem slikovnim elementom, ki jih zajema tematska karta na ekranu. Naše izkušnje kažejo, da je hitrost aplikacij s to metodo primerljiva z drugimi spletnimi kartografskimi aplikacijam, še posebej pa se ta metoda izkaže na tabličnih računalnikih in drugih mobilnih napravah z manjšimi zasloni.

### 4 Viri in literatura

- How web maps work, 2016. Medmrežje: <https://www.mapbox.com/help/how-web-maps-work/> (14. 2. 2016).
- Hwang, M. 2013: Tile-based Methods for Online Choropleth Mapping: A Scalability Evaluation. Doktorska disertacija, Arizona State University. Medmrežje: [https://repository.asu.edu/attachments/125770/content/Hwang\\_asu\\_0010E\\_13306.pdf](https://repository.asu.edu/attachments/125770/content/Hwang_asu_0010E_13306.pdf) (14. 2. 2016).

- Kuzma, I., Žagar, T. 2014: STAGE – spletna GIS aplikacija za prikazovanje in posredovanje geoprostorskih statističnih podatkov. Informatika v javni upravi. Ljubljana.
- OGC, 2006. OpenGIS® Web Map Server Implementation Specification. Open Geospatial Consortium Inc. Medmrežje: [http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=14416](http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=14416) (14. 2. 2016).
- OGC, 2007. Styled Layer Descriptor profile of the Web Map Service. Open Geospatial Consortium Inc. Medmrežje: [http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=22364](http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=22364) (14. 2. 2016).
- OGC, 2010. OpenGIS® Web Map Tile Service Implementation Standard. Open Geospatial Consortium Inc. Medmrežje: [http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=35326](http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=35326) (14. 2. 2016).
- Parsing Base64 Encoded Binary PNG Images in JavaScript, 2009. Medmrežje: <http://blog.calyptus.eu/seb/2009/05/png-parser-in-javascript/> (14. 2. 2016).
- STAGE, 2016: Medmrežje: <http://gis.stat.si/> (14. 2. 2016).
- Šumrada, R. 2011: Prosti standardni spletni servisi ogc za prostorske podatke. Geodetski vestnik 55-1.
- Zhao, H., Shneiderman, B. 2002: Image-based highly interactive Web mapping for geo-referenced data publishing. Human Computer Interaction Lab & Computer Science Department. University of Maryland. Medmrežje: <http://hcil2.cs.umd.edu/trs/2002-26/2002-26.ps> (14. 2. 2016).





## GIS PRI ŠTUDIJU IN RAZISKOVALNEM DELU V LOGISTIKI

**dr. Klemen Prah, Gregor Štrubelj, Bojan Rupnik, dr. Tomaž Kramberger, dr. Dejan Dragan**

Fakulteta za logistiko, Univerza v Mariboru

klemen.prah@um.si, gregor.strubelj@um.si, bojan.rupnik@um.si, tomaz.kramberger@um.si, dejan.dragan@um.si

UDK: 91:659.2:004

005.5:378.4(497.4)

### IZVLEČEK

#### **GIS pri študiju in raziskovalnem delu v logistiki**

V prispevku želimo izpostaviti pomembno vlogo geografskih informacijskih sistemov (GIS-ov) v logistiki, saj slednja predstavlja vse pomembnejšo in vse bolj prepoznavno stroko v domala vseh podjetjih. Zaradi tega nekatere ustanove terciarnega izobraževanja vključujejo GIS-e v svoje študijske programe in raziskovalno delo. V članku proučujemo, kako se GIS-i vpletajo v pedagoško in raziskovalno delo na Fakulteti za logistiko Univerze v Mariboru. Najprej se osredotočamo na razvoj GIS-ov v logistiki in transportu, pri čemer opazimo skokovit napredek v zadnjih dvajsetih letih. Nadalje analiziramo vpetost GIS-ov v študijski proces logistike. Pri tem primerjamo študijske predmete, v okviru katerih se na različnih študijskih programih poučujejo GIS-i. Kot tretje izpostavljamo in primerjamo tri projekte s področja GIS-T (GIS v transportu in logistiki), kot primere dobre prakse, ki smo jih izvedli na Fakulteti. Ugotavljamo, da se je pri pedagoškem delu, kakor tudi pri raziskovalnem delu smiselno povezovati s partnerji iz gospodarstva in negospodarstva, saj se na ta način soočamo z reševanjem resničnih in uporabnih problemov.

### KLJUČNE BESEDE

GIS, logistika, transport, študij logistike, transportno omrežje

### ABSTRACT

#### **GIS in the study and research in logistics**

In this article we wish to highlight the importance of geographic information systems (GIS) in logistics. The latter represents more and more important and distinct discipline in nearly all companies. For this reason some tertiary education institutions integrate GIS in their study and research work. In the article we examine how GIS is involved in teaching and research work at the Faculty of Logistics, University of Maribor. Firstly we address the development of GIS in logistics and transportation, where we recognize a dramatic progress in the last twenty years. Further we analyse integration of GIS in the study process of logistics. Here we compare study subjects within which the geographic information systems have been taught on various study programmes. Third, we highlight and compare three projects in the field of GIS-T (GIS for transportation and logistics), as examples of good practice, which were carried out by the Faculty. We note that in pedagogical work, as well as in research work it is meaningful to cooperate with partners from industry and the public sector to face with solving real and practical problems.

### KEY WORDS

GIS, logistics, transportation, study of logistics, transportation network

## 1 Uvod

Logistika postaja dandanes vedno bolj prepoznavna stroka v družbi. Če smo jo v preteklosti povezovali predvsem s podpornimi vojaškimi aktivnostmi in transportnimi storitvami, pa danes malodane vsa podjetja prepoznavajo pojem »logistika« in se zavzemajo za minimizacijo logističnih stroškov. Številna logistična podjetja že dolgo več ne enačijo logistike s transportom, ampak želijo strankam in partnerjem znotraj logističnih storitev ponuditi tudi neko dodano vrednost.

Po definiciji je logistično upravljanje del oskrbovalne verige. Ukvarja se z načrtovanjem, implementacijo in nadzorovanjem uspešnega in učinkovitega pretoka blaga, storitev in s tem povezanih informacij med mestom nastanka in mestom potrošnje (ali uničenja oziroma ponovne uporabe), da bi zadovoljilo strankine (kupčeve) zahteve (CSCMP ... 2016).

Pretok blaga in storitev ter s tem povezanih informacij je torej postavljen v geografski prostor. V tem prostoru poteka pretok blaga in storitev po transportnem omrežju, bodisi takšnem s točno določenimi potmi (na primer ceste), bodisi z okvirno določenimi potmi (na primer zračni koridorji). Logistična stroka ugotavlja znotraj teh omrežij stroškovno čim ugodnejše rešitve pretoka blaga in storitev. Pri tem se opira na matematično znanost teorije grafov in optimizacijskih metod. Da bi bila izračunavanja izvedljiva v sprejemljivem času, si pri tem pomaga z geografskimi informacijskimi sistemi (GIS-i). Ti po eni izmed definicij predstavljajo računalniško podprt podatkovno procesni sistem za učinkovito zaje-manje, shranjevanje, vzdrževanje, obdelavo, analize, porazdeljevanje in prikazovanje prostorskih (geografskih) podatkov (Šumrada 2005, 5). S svojo dodano vrednostjo k prostorskim podatkom us-tvarjajo GIS-i uporabno informacijo pri odločanju (Heywood, Cornelius in Carver 2011, 18).

Za usposobitev dobrih logistov je potreben kakovosten izobraževalni program. K slednjemu stremimo na Fakulteti za logistiko Univerze v Mariboru (v nadaljevanju Fakulteta). Sestavni del študija na Fakulteti so med drugim geografski informacijski sistemi.

GIS-i doživljajo hiter razvoj, kar je tesno povezano s skokovitim napredkom na področju informa-cijsko komunikacijske tehnologije. Zaradi tega moramo na Fakulteti nenehno skrbeti za sodobnost in aktualnost študijskih predmetov ter raziskovalnega dela s področja GIS-ov.

V članku nas zanima, kako se GIS-i, vključno s svojimi razvojnimi novostmi, vpletajo v študijski proces in raziskovalno delo logistike. S tega vidika najprej predstavljamo pomen in vlogo GIS-ov v logistiki in transportu v 21. stoletju. Nadalje analiziramo vpletenost GIS-ov v študijski proces logistike na Fakulteti. Nato kot primere dobre prakse izpostavljam in primerjamo tri izstopajoče geoinforma-cijske projekte, ki smo jih izvedli na Fakulteti. V sklepu navedemo še nekatere druge raziskovalne primere v logistiki, pri katerih igrajo GIS-i nepogrešljivo vlogo.

## 2 GIS v logistiki in transportu v 21. stoletju

Miller in Shaw sta na prelomu tisočletja izdala knjigo z naslovom Geografski informacijski siste-mi v transportu – Principi in aplikacije (Miller in Shaw 2001). Kot zadnje je v knjigi prisotno poglavje Logistika, ki ga je napisal Bruce Ralston. Slednji ugotavlja, da obstajajo učinkovita geoinformacijska orodja za analizo in upravljanje transportnih sistemov. Ta orodja vključujejo algoritme za usmerjanje v omrežjih (še posebej za reševanje problema trgovskega potnika in usmerjanja množice vozil) in lo-ciranje objektov (Miller in Shaw 2001, 380). Isti avtor nadalje zapiše, da obstajajo številne možnosti uporabe geoinformacijske tehnologije v logistiki, ki jih lahko razdelimo na tri področja: opisna analiza pove-zanja in proučevanja logističnih podatkov, upravljanje logističnih informacij ter analiza za podporo strateškemu načrtovanju in odločanju (Miller in Shaw 2001, 383).

Petnajst let pozneje sta ista avtorja (Miller in Shaw 2015, 180) postavila pod drobnogled to, kar sta zapisala in zbrala v knjigi na prelomu tisočletja. Ugotovila sta, da so se v petnajstih letih področja GIS-a, transporta in GIS-T (GIS-a v transportu) dramatično spremenila, kar je v veliki meri povezano s hi-

trim povečevanjem zmogljivosti zajemanja, shranjevanja in obdelave podatkov, kakor tudi sporočanja informacij in ugotovitev, ki izhajajo iz teh podatkov. Danes je namreč možno zbirati podatke o mobilnosti na individualni ravni (Miller in Shaw 2015, 182), kar je zelo pomembno za sledenje trendom mehke politike upravljanja mobilnosti, ki vključuje informiranje, prepričevanje in spodbujanje uporabnikov (Bamberg s sodelavci 2011, 228). Danes je možen tudi razvoj podatkovnih baz prostorsko-časovnih in premikajočih se objektov, kar je zelo pomembno pri reševanju problemov mobilnosti in dostopnosti. Te baze vsebujejo metode za prikazovanje, hranjenje in dostopanje do takšnih podatkov, ki pogosto spreminjajo geometrijo, še posebej geografsko lokacijo (Miller in Shaw 2015, 182).

Kateri pa so tisti temeljni in trajni principi v GIS-T, ki so se ohranili iz 20. stoletja vse do danes? Navkljub vsemu razvoju mora raziskovalec ali načrtovalec s področja GIS-T še vedno razumeti, kako so transportni in drugi geografski podatki umeščeni na Zemljino površje. Namreč srce kateregakoli projekta s področja GIS-T predstavlja georeferencirana prostorska baza, osredotočena na prostorsko mrežo. Nadalje mora raziskovalec ali načrtovalec znati skrbno upravljati transportne podatkovne baze, ki so v 20. stoletju doživele razvoj v smeri objektno-relacijskih podatkovnih baz. Raziskovalec ali načrtovalec mora poznati tudi postopke za reševanje temeljnih problemov usmerjanja v transportnih omrežjih. Ker pa imajo računalniki svoje omejitve, uporabljamo pri mrežnih analizah hevrstiko oziroma bližnjice, ki dajejo sicer ne najboljšo, vendar pa dobro rešitev, in to v razumnem času. Nenazadnje mora raziskovalec ali načrtovalec znati pravilno uporabljati prostorsko-analitične in geovizualizacijske tehnike, saj predstavlja zemljevid prodorno komunikacijsko sredstvo, ki vključuje animacije, interaktivnost in raziskovanje (Miller in Shaw 2015).

Z vidika razvoja GIS-ov, podatkov in transporta je potrebno na področju GIS-T slediti naslednjim trendom:

- obravnavati takšne raziskovalne izzive, ki proučujejo odnose med človekovimi dejavnostmi v virtualnem prostoru in človekovimi dejavnostmi v fizičnem prostoru (Miller in Shaw 2015, 185),
- omogočati interakcijo med raziskovalci in praktiki tako na področju transporta kakor GIS-ov (Miller in Shaw 2015, 186),
- individualistično in dinamično pristopati k analiziranju in razumevanju človekove mobilnosti (Miller in Shaw 2015, 185),
- zagotavljati integracijo prilagojenih storitev mobilnosti z javnim transportom, saj to predstavlja ključno znanstveno in politično vprašanje s področja transporta v 21. stoletju (Miller in Shaw 2015, 187).

Kot rečeno je pri reševanju logističnih in transportnih problemov z GIS-i ključnega pomena konfiguriranje mrežne podatkovne baze, pri čemer stremimo k čim bolj realnemu prikazu značilnosti omrežja. Pri cestnem transportnem omrežju je ena izmed teh značilnosti upoštevanje trenutnih prometnih razmer. Te je možno konfigurirati v podatkovno bazo na osnovi historičnih prometnih podatkov ali na osnovi prometnih podatkov v realnem ali skoraj realnem času. Historični podatki temeljijo na ideji, da potovalne hitrosti v omrežju sledijo tedenskemu vzorcu. To pomeni, da pričakujemo, da bo potovalna hitrost na določenem cestnem odseku na primer v torek ob 9. uri dopoldan enaka potovalni hitrosti en teden pozneje, torej v torek ob 9. uri dopoldan. Prometni podatki v realnem času pa lahko pomagajo še izboljšati informacije, pridobljene na osnovi historičnih podatkov. Namreč gneča na cesti lahko povzroči upočasnitev prometa, nezgoda lahko začasno ustavi promet, čas počitnic lahko upočasnji promet ali vpliva na spremembo lokacije prometnega zastoja in tako dalje. Pri podatkih v realnem času meri dobavitelj podatkov trenutno hitrost na osnovi številnih virov, kot so na primer GPS sprejemniki v vozilih in hitrostni senzorji na cestah. Uporabnik računalniškega programa za delo z GIS-i se poveže z dobaviteljem podatkov preko interneta, na svoj računalnik prenese podatke o trenutnih hitrostih in ti se sproti nalagajo v mrežno podatkovno bazo (What is traffic data? 2016). Prometne podatke za Evropo med drugim zagotavlja podjetje HERE. Glede na vir Network analysis coverage (2016) naj bi bili podatki v realnem času razpoložljivi za vse štiri naše sosesde, za Slovenijo pa naj bi se potovalne hitrosti izračunavale na osnovi historičnih podatkov.

V mrežnih analizah ima poseben pomen tudi 3D modeliranje, saj nam omogoča upoštevanje potovalnih razdalj in potovalnih hitrosti tudi v višinski dimenziji, na primer znotraj stavbe.

### 3 GIS pri študijskem procesu logistike

Na Fakulteti poučujemo GIS-e na treh stopnjah študija, in sicer v 2. letniku visokošolskega strokovnega študijskega programa, 2. letniku univerzitetnega študijskega programa in 1. letniku magistrskega študijskega programa (preglednica 1). Po tem vrstnem redu se študijski predmeti imenujejo Osnove prostorskega modeliranja, Geografski informacijski sistemi in Napredni geografski informacijski sistemi.

Na Fakulteti izvajamo del predavanj in vaj v avditorni obliki, del pa kot e-študij. Pod e-študij pojmujejo vse, kar študent opravlja samostojno ali v ustrezni skupini in pri tem obstaja jasen dokaz o opravljeni aktivnosti v spletni učilnici (na primer rešen kviz, oddaja naloge, sodelovanje v forumu). Vse te aktivnosti morajo biti preverjene s strani učitelja in kjer je to primerno, ocenjene. Načini izvajanja e-študija, tako predavanj kakor vaj, so:

- uporaba računalniških aplikacij (na primer programska oprema, ki si jo študent naloži in z njo opravi določene aktivnosti ter poročilo odda v e-učilnici),
- oddaja nalog, ki jih študent opravi z uporabo računalniških aplikacij,
- raziskava določene teme z uporabo spleta in drugih IT pripomočkov,
- študij in reševanje vnaprej pripravljenih gradiv, nalog, kvizov,
- ogledi in poslušanje video/avdio vsebin,
- sodelovanje na forumih ter
- druga, sorodna uporaba računalnikov in e-učilnice za potrebe izobraževanja.

Velja tudi pravilo, da mora biti e-študij ločen od avditornega dela, torej za e-študij ne štejejo aktivnosti, ki so izvedene v e-učilnici znotraj avditornih predavanj ali vaj.

V okviru omenjenih treh študijskih predmetov stremimo na Fakulteti h kontinuiteti študijskih vsebin pri napredovanju z visokošolskega ali univerzitetnega programa na magistrski program. Na prvih dveh programih se osredotočamo na temeljna znanja, kot so pojmovanje GIS-ov, prostorski podatki in njihovo modeliranje, upravljanje podatkovnih baz, urejanje podatkov, podatkovne analize in osnovna kartografska znanja. Na magistrskem programu pa nadaljujemo z nadgradnjo temeljnih znanj, pri čemer dajemo poudarek transportnim omrežjem. Pri tem večkrat naletimo na problem, ko se na magistrski program vpišejo tudi študenti, ki so visokošolski ali univerzitetni program zaključili na najrazličnejših drugih fakultetah. Tako številni med njimi nimajo predhodnega osnovnega znanja GIS-ov, zaradi česar

*Preglednica 1: Primerjava študijskih predmetov na Fakulteti za logistiko Univerze v Mariboru, v okviru katerih se poučujejo geografski informacijski sistemi.*

študijski predmet	Osnove prostorskega modeliranja	Geografski informacijski sistemi	Napredni geografski informacijski sistemi
študijski program	visokošolski strokovni študijski program Gospodarska in tehniška logistika	univerzitetni študijski program Logistika sistemov	magistrski študijski program
letnik	2	2	1
število ur e-predavanj in avditornih predavanj	15+15	15+15	24+21
število ur e-vaj in avditornih vaj	24+21	24+21	19+21
število ur samostojnega dela	135	135	155
število ECTS	7	7	8

je za njih takojšnji preskok na delo s transportnimi omrežji dokaj težaven. To skušamo omiliti na način, da te študente z nekaj začetnimi vajami in samostojnim delom vseeno uvedemo v osnove GIS-ov.

Kot smo že zgoraj zapisali, se pri predmetu Napredni geografski informacijski sistemi osredotočamo na transportna omrežja. Predavanja pri tem predmetu so sestavljena iz sledečih obsežnejših poglavij:

- GIS-i v transportu in logistiki v 21. stoletju,
- Modeliranje podatkov in ustvarjanje podatkovne baze,
- Geoinformacijski podatkovni modeli v transportu in logistiki,
- Podatkovni viri o transportu in
- Analize v transportnih omrežjih.

Pod drugo od zgornjih alinej spada med drugim ustvarjanje mrežne podatkovne baze, ki zajema v prvi vrsti pripravo podatkovnih virov, ki bodo sestavljali transportno omrežje. Te vire je potrebno opremiti s stroškovnimi atributi, kot sta na primer razdalja in potovalni čas posameznih odsekov. Neobvezno se pripravi tudi podatkovni sloj zavijanj, ki služi modeliranju gibanj iz ene povezave v drugo. Sloj zavijanj ponavadi pripravimo z namenom upoštevanja večjega časovnega stroška zavijanja na določenih mestih, ali pa da bi povsem prepovedali določena zavijanja. V nadaljevanju procesa uredimo nastavitve glede povezljivosti in uporabe višinskih atributov v omrežju ter ustvarimo in uredimo vse potrebne opisne, stroškovne, hierarhične in omejitvene attribute. Primer opisnega atributa je število vozniških pasov neke povezave, primer stroškovnega atributa je čas, ki ga uporabimo za prečenje povezave, primer hierarhičnega atributa so kategorije cest, ki igrajo pomembno vlogo pri usmerjanju vozil, primer omejitvenega atributa pa je prepoved vožnje za osebna vozila. Končna izgraditev mrežne podatkovne baze pomeni ustvarjanje elementov omrežja (povezave, vozlišča in zavijanja), vzpostavitev povezljivosti in dodelitev vrednosti atributom (Creating a network dataset 2016).

Zgoraj omenjeno poglavje Analize v transportnih omrežjih obsega nabor šestih osnovnih tipov mrežnih problemov: najboljša pot, najbližji objekt, servisno območje, stroškovna matrika izvor-ponor, usmerjanje množice vozil ter lokacija-alokacija. Iskanje najboljše poti pomeni ugotavljanje najkrajše ali najhitreje poti med lokacijami za eno ali več vozil. Ugotavljanje najbližjega objekta pomeni iskanje enega ali več objektov, ki so najbližji nekemu incidentu glede na potovalni čas, razdaljo ali katero drugo vrsto stroška. Servisno območje predstavlja regijo, ki zajema vse ceste, katere so dosegljive znotraj določene razdalje ali potovalnega časa od enega ali več objektov. Ponavadi se servisna območja uporabljajo za ugotavljanje in vizualizacijo dostopnosti. S stroškovno matriko izvor-ponor poiščemo in izmerimo najcenejše poti v omrežju iz več izvorov do več destinacij. Matrika je preglednica, ki vsebuje mrežne stroške od vsakega izvora do vsake destinacije. Najbolj kompleksen tip mrežnega problema pa je usmerjanje množice vozil z danim voznim parkom ali kot ga po angleško imenujemo *Vehicle Routing Problem* – VRP. Glavni cilj tega problema je najbolje servisirati množico naročil in pri tem minimizirati celotne operativne stroške vozil. Pri tem v določenih primerih naletimo na potrebo po parnih naročilih. Takšen primer je razvoz množice učencev od postajališč do šol, saj je treba vsakega učenca pobrati na izvoru – postajališču in ga odložiti na destinaciji – šoli. Ti povezani postaji sta z ustreznim zaporedjem dodeljeni isti poti. Kot zadnji tip mrežnega problema omenimo še problem lokacija-alokacija. Namreč lokacija se večkrat smatra kot najpomembnejši dejavnik uspeha nekega zasebnega ali javnega podjetja. S tega vidika je potrebno za podjetje poiskati takšne lokacije, da bodo najučinkoviteje oskrbovale točke povpraševanja (An overview of the Server toolset 2016).

Ker doživljajo GIS-i, podatki ter področje transporta in logistike skokovit napredek, je treba temu primerno tudi posodabljati učne načrte omenjenih študijskih predmetov.

## 4 GIS pri raziskovalnem delu v logistiki

Na Fakulteti vključujemo GIS tudi v raziskovalno delo. To počnemo pretežno v okviru Katedre za kvantitativno modeliranje v logistiki. Pri tem uporabljamo poleg strokovnih logističnih znanj še znanja

matematike in računalništva. Znano je, da matematični modeli na splošno pomagajo pri predvidevanju obnašanja naravnih in človeških sistemov. Vendar pa pomenijo modeli le približek realnega sveta. Če modeliramo na primer problem usmerjanja vozil, predstavlja matematično osnovo podatkovna struktura graf z množico vozlišč (križišč) in množico povezav med vozlišči (cestnih odsekov). Obema množicama dodajamo lastnosti, za katere predvidevamo, da vplivajo na sistem. Poleg dolžine cestnega odseka so te lastnosti še prometna pretočnost, čas trajanja vožnje v prometni konici, omejitev hitrosti, maksimalna dovoljena višina vozila in drugo. V rešitvi lahko nastopa tudi most, ki je v realnosti preozek za tovornjak, ali pa cestni ovinek, ki je v realnosti preoster za dolgo vozilo. Posebno poglavje predstavljajo še modeli, ki upoštevajo dinamične spremembe na cestah. Posledično so lahko rezultati, ki jih dobimo iz modela in jih apliciramo na realni problem, blizu ali pa daleč od optimalnih.

Na Fakulteti uporabljamo pri raziskovalnem delu lastniško računalniško programsko opremo ArcGIS (Esri 2014). Kot vire za modeliranje transportnih omrežjih uporabljamo podatkovni sloj cest za Slovenijo (Navteq 2008) ter podatkovna sloja cest in železnic za Evropo (RRG ... 2015).

Pri cestnih in železniških podatkih je pomembno, da so opremljeni s takšnimi atributi, ki omogočajo modeliranje čim bolj realnih prometnih značilnosti in razmer. Pri cestnem omrežju so takšni atributi na primer kategorije cest, hitrostne kategorije, smer potovanja, prepovedi vožnje za določene tipe cestnih vozil, prisotnost tunela ali podvoza, plačilo cestnine in število voznih pasov. Pri železniškem omrežju so takšni atributi na primer kategorija povezave, obratovanje povezave, število tirov, kategorija TEN/TINA, povezave visoke hitrosti, evropski koridorji in povprečna hitrost. Pri modeliranju mrežne podatkovne baze je treba ene ali druge podatke opremiti še z atributom za razdaljo (na primer metri) in čas (minute). Slednja sta ključna stroškovna atributa pri iskanju optimalnih poti.

Do sedaj smo na Fakulteti izvedli več raziskav, pri katerih je bila ključnega pomena uporaba geografskih informacijskih sistemov. V nadaljevanju izpostavljamo tri takšne zaključene raziskave kot primere dobre prakse. To so optimizacija poti zimskega vzdrževanja cest na primeru Celja, določitev optimalnih poti in optimalnih voznih redov za prevoz otrok v šolo v občini Laško ter modeliranje pristaniškega zaledja z izbiro pristanišča. V podpoglavju 4.4 tudi med seboj primerjamo vse tri raziskave.

#### 4.1 Optimizacija poti zimskega vzdrževanja cest na primeru Celja

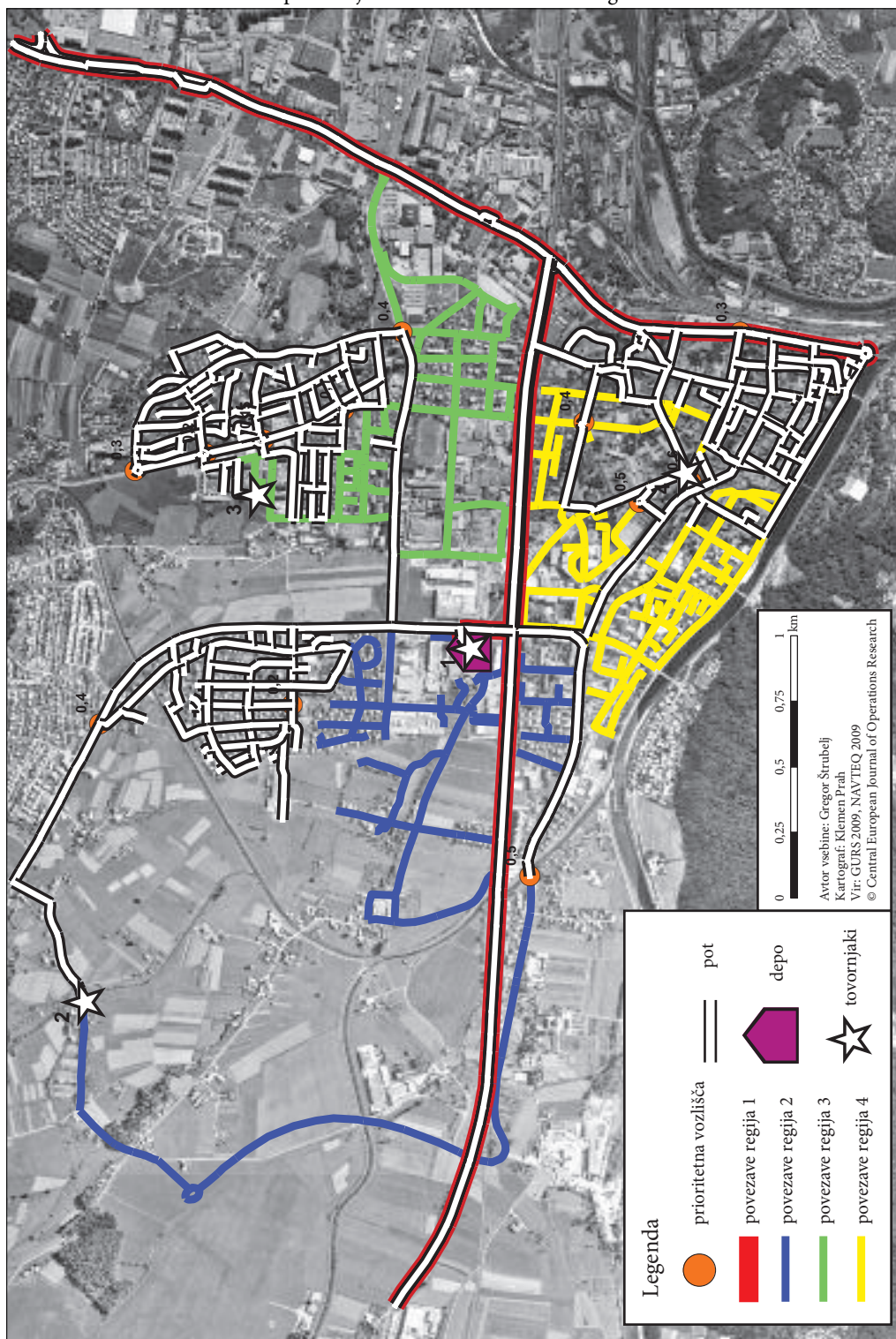
Dva izmed osnovnih transportnih problemov sta problem trgovskega potnika in problem kitajskega poštarja. Če pri trgovskem potniku iščemo najkrajši obhod, ki obišče vsa vozlišča natanko enkrat, moramo pri drugem problemu obiskati vse povezave po najkrajši poti. Oba omenjena problema imata veliko število razširitev in tudi mi smo v spodaj opisani raziskavi razširili problem kitajskega poštarja s prioritetskimi vozlišči (Kramberger s sodelavci 2013).

Glavna motivacija za izdelavo modela je zimsko soljenje cest, pri katerem je treba posipati vse ceste, torej vse povezave v grafu. To predstavlja dokaj kompleksen, pa tudi drag podvig, saj je treba upoštevati varnostne, ekonomske in okoljske dejavnike. S stališča varnosti naj bi najbolj izpostavljena mesta posipali najprej. Najbolj ekonomično je soliti po najkrajši poti in obenem minimizirati škodljive vplive prevoza soli na okolje. V modelu imamo tako dva cilja – najti najkrajšo skupno dolžino sprehoda in doseči čim manjšo zamudo obiska prioriternih vozlišč. Za kriterijsko funkcijo smo preprosto vzeli njuno vsoto.

Osnovni problem kitajskega poštarja je rešljiv v polinomskem času, dodatek prioriternih točk pa povzroči, da je čas izračuna nepolinomski. Učinkovit algoritem za reševanje torej ne obstaja, zato se ga lotimo s hevristikami. Razvili smo tri, vsaka preseže ostali dve pri določenih vhodnih pogojih. Ena je recimo dobra, če zamude niso drage, drugi dve sta boljši, če imajo zamude visoko ceno.

Model smo implementirali v okolju ArcGIS. Podatke s karte posredujemo preko orodne vrstice zunanji funkcijski knjižnici; vgrajeni skriptni jezik je namreč izrazito prepočasen za te namene. Knjižnica izračune

*Slika 1: Prikaz najkrajše poti zimskega vzdrževanja cest v Celju pri razdelitvi območja na štiri regije in upoštevanju prioriternih vozlišč. ►*





nato shrani nazaj v geopodatkovno bazo. Dodali smo še časovne attribute, tako da lahko ArcGIS-ova razširitev Tracking Analyst prikaže poti vozil.

Ena od omejitev modela je ta, da upošteva le eno vozilo. Če želimo pokriti večje območje, smo v ArcGIS-u predvideli možnost razdelitve v regije, vsako s svojim vozilom. Za spodnjo sliko (slika 1) smo mesto Celje razdelili na štiri regije, prikazan pa je 208. korak od skupaj 413-ih, ko se še zadnji tovornjak vrne v depo.

#### 4.2 Optimizacija poti in voznih redov za prevoz otrok v šolo v občini Laško

Primer obravnava dvokoračni optimizacijski postopek za krčenje stroškov prevoza določenih kategorij otrok v šolo v občini Laško. Za učence, ki stanujejo na določeni oddaljenosti od šol, mora namreč šola poskrbeti za prevoz v šolo in hkrati povratek domov.

Optimizacijski postopek sestoji iz dveh korakov (Dragan s sodelavci 2011). Pri prvem gre za določitev optimalnih lokacij postaj, na katerih naj bi razpoložljiva vozila pobirala učence in kamor naj bi jih pri povratku domov tudi vračala. Pri drugem koraku pa se izvede optimizacija voznih poti in voznih redov prevoznih sredstev.

Pri določitvi optimalnih lokacij postaj smo uporabili simulacijsko-optimizacijski postopek Monte Carlo. Z njim smo izračunali optimalne lokacije na način, da je teh lokacij najmanjše možno število, a kljub temu zagotavljajo največjo možno pokritost naslovov domovanj učencev v okviru predpisanega največjega radija pešačenja, ki je 1,4 kilometra. Ob dobljeni rešitvi učenci sicer še vedno morajo prehoditi določeno pot od doma do najbližje postaje in obratno, vendar je le-ta v povprečju najkrajša možna in znaša le nekaj 100 m.

V 2. koraku optimizacijskega postopka smo upoštevali vozni park, sestavljen iz sledečih vozil: 3 avtobusi s kapaciteto 50 potnikov, 1 minibus s kapaciteto 16 potnikov ter 10 kombijev s kapaciteto 8 potnikov. Kot zahtevo pri optimizaciji smo postavili pogoj, da morajo biti vozila pri prevozu kar najbolj polna.

Pri računanju optimalnih voznih poti in voznih redov prevoznih sredstev smo uporabili računalniško programsko opremo ArcLogistics (Esri 2008) in ArcGIS 9.3.1 (Esri 2009). S pomočjo programa ArcGIS in njegove razširitve Network Analyst smo na osnovi podatkovnega sloja cest (Navteq 2008) modelirali transportno omrežje, torej zgradili mrežno podatkovno bazo. Sledil je vnos podatkov o postajališčih, vozilih in naročilih. Ko je bila parametrizacija v celoti izvedena, smo s pomočjo programa ArcLogistics izvedli postopek optimiranja.

Vsakemu izmed vozil je bil pri izvajanju optimalnih poti dodeljen določen nabor optimalnih postaj, na katerih mora vozilo pobrati učence. Prav tako je vsako vozilo zadolženo za določen nabor šol, kamor mora te učence razvoziti. Kot se je izkazalo, je optimizacijski postopek izračunal pozicije za 48 optimalnih lokacij postaj, od koder je potrebno z danimi 14 vozili razvoziti učence na 11 šol, pri čemer vozila začnejo svojo pot na 5 izhodiščnih lokacijah.

Primerjava prvotne, neoptimirane situacije z rezultati optimirane situacije kaže, da bi lahko z uvedbo optimalnega voznega parka, voznih poti in voznih redov dosegli občuten prihranek pri finančnih stroških. V prvotni, neoptimirani situaciji namreč vozila dnevno prevozijo več kot 3000 km. V primeru optimirane situacije pa vozila prevozijo skoraj 1000 km manj, kar pomeni relativno velik prihranek v smislu finančnih stroškov in nenazadnje manjše onesnaževanje okolja.

#### 4.3 Modeliranje pristaniškega zaledja z izbiro pristanišča

Pristaniško zaledje predstavlja kopensko območje pristanišča, kamor se tovor pošilja ali od koder se tovor zbira za transport v druga pristanišča. Obseg pristaniškega zaledja je lahko odvisen od več dejavnikov, med katerimi so najpomembnejši stroški kopenskih transportnih povezav. V naši raziskavi smo zgradili model, ki poleg pristaniških pristojbin, stroškov nastalih na podlagi časa plutja ter stroškov nastalih na podlagi železniških razdalj, upošteva tudi subjektivne dejavnike (Kramberger s sodelavci 2015).

Model temelji na transportnih poteh tovora iz azijskih pristanišč (Singapur, Hong Kong, Busan, Kaohsiung in Port Klang) v jadranska pristanišča (Koper, Reka, Trst, Ravena, Benetke) in severnomorska pristanišča (Rotterdam, Hamburg in Bremerhaven), od koder se prepošilja naprej po železnici do potrošnih mest po Evropi. Ob tem smo izvedli ankete med evropskimi špediterji, s katerimi smo ugotavljali vpliv subjektivnih dejavnikov na izbiro evropskih pristanišč. Vsak špediter je glede na svoje potrebe po pomembnosti razvrstil dejavnike, kot so na primer zanesljivost, povezanost z zaledjem, pogostost transporta, odzivnost, ugled, poškodbe tovora in zmožnost hitrega ukrepanja ob nepredvidenih situacijah. V naslednjem koraku so špediterji razvrstili evropska pristanišča glede na omenjene subjektivne dejavnike. Na podlagi opravljenih anket smo za vsako ciljno pristanišče določili preferenčno stopnjo glede na ostala pristanišča po metodi AHP (*Analytic Hierarchy Process*; Chou 2010).

Za ugotavljanje zaledja posameznih pristanišč smo določili 1000 enakomerno razporejenih naključnih potrošnih mest v evropskem prostoru s povprečno medsebojno zračno oddaljenostjo 50 kilometrov. Glede na to, da smo imeli na voljo pristaniške podatke le zgoraj omenjenih jadranskih in severnomorskih pristanišč, smo temu prilagodili tudi geografsko območje proučevanja. Geografsko območje smo torej opredelili z elipso, katere severna os meri 1800 kilometrov, vzhodna os pa 900 kilometrov (slika 2).

V naslednjem koraku smo izračunali matriko razdalj od vseh potrošnih mest do evropskih pristanišč po železniški mreži. Za izračun optimalnega pristanišča smo uporabili metodo MILP (*Mixed Integer Linear Programming*), kjer vhodni parametri zajemajo ceno ladijskega transporta iz Azije v Evropo, ceno pristaniških pristojbin, ceno železniškega transporta ter preferenčne stopnje posameznih pristanišč. Rezultat izračuna za vsako posamezno potrošno mesto izbere najustreznejše evropsko pristanišče za oskrbo.

Končni korak raziskave predstavlja konstrukcija Voronoijevega diagrama s potrošnimi mesti kot vhodnimi točkami. Voronoijev diagram za vsako potrošno mesto določi območje (Voronoijevo celico), čigar notranjost je bližja tej točki kot vsem okoliškim. Tako vsako potrošno mesto dobi območje vpliva, ki je omejeno s sosednjimi območji. Vsako Voronoijevo celico nato pobarvamo z enolično barvo glede na izbrano pristanišče njenega potrošnega mesta, s čimer ustvarimo končni zemljevid pristaniških zaledij (slika 2).

#### 4.4 Primerjava predstavljenih geoinformacijskih projektov

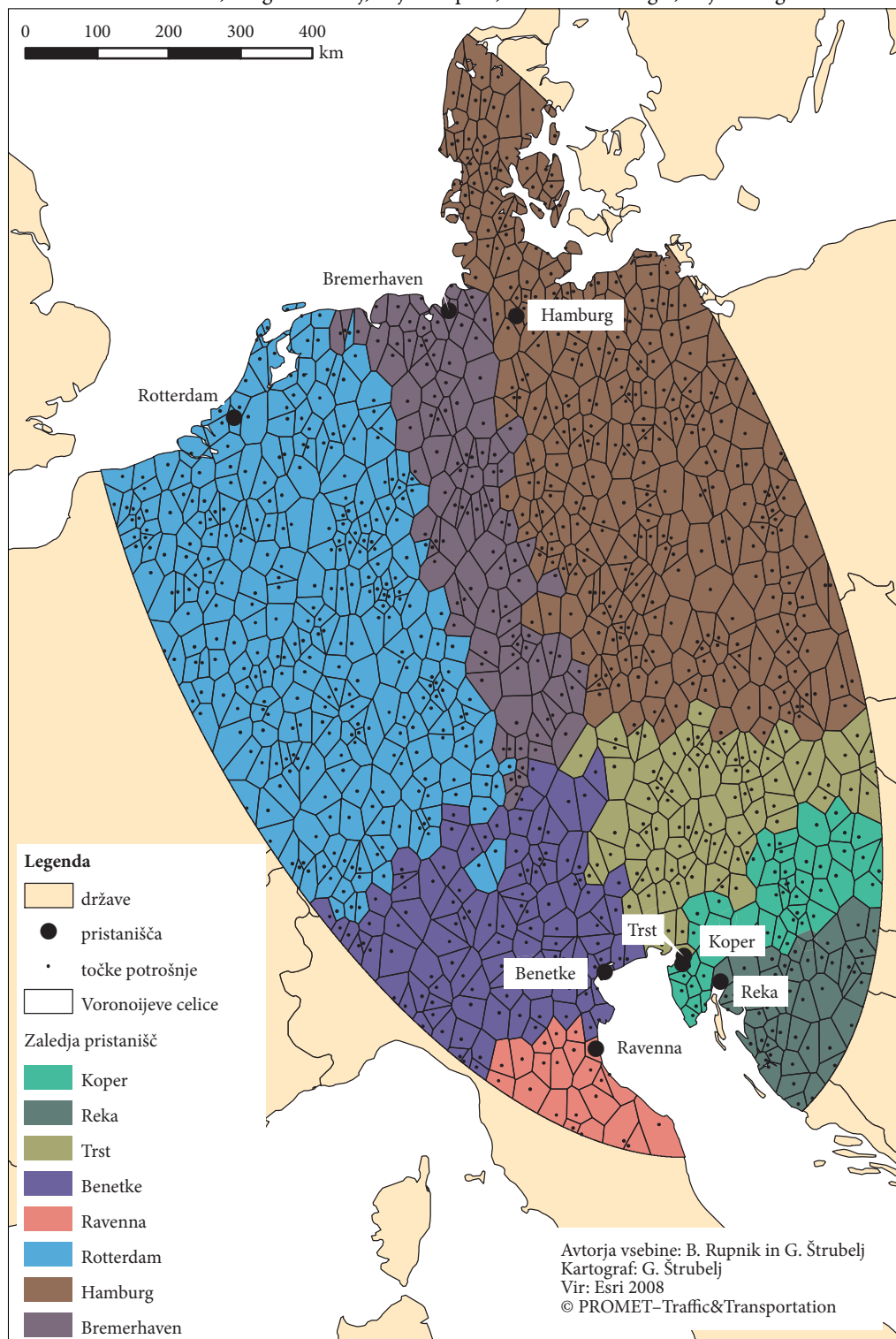
Predstavljeni geoinformacijski projekti se med seboj razlikujejo po območju raziskave, raziskovalni metodi in vlogi GIS-ov. Projekte pa smo med seboj primerjali tudi glede nekaterih posebnih kazalcev, kot so integracija matematičnega modela z GIS-i, izdelava projekta za gospodarski ali javni sektor, sodelovanje študentov pri projektu ter jasno opredeljen okoljevarstveni pomen projekta (preglednica 2).

Dva izmed projektov sta bila izvedena na območju Slovenije, od tega eden v kraju Fakultete, drugi pa v sosednji občini. Tretji projekt je bil izveden za obsežni del Evrope (preglednica 2). Ta značilnost kaže po eni strani osredotočenost raziskovalnega dela na domače okolje, po drugi strani pa vpetost v globalno okolje.

Metodološko gledano temeljita raziskavi za Celje in Laško na teoriji grafov. V obeh primerih je prisotna kombinatorična optimizacija, v primeru za Laško pa tudi lokacijski problem. Metoda AHP spada na področje multikriterijskega odločanja, metoda MILP na področje matematične optimizacije, Voronoijev diagram pa na področje prostorske delitve.

Pri vseh treh raziskavah gre za integracijo matematičnega modela z GIS-i. Na primeru Celja je bil najprej razvit matematični model, ki je bil nato testiran z GIS-i. Pri določanju postajališč na primeru Laškega imajo GIS-i le vlogo zbiranja podatkov, medtem ko imajo pri računanju optimalnih poti, urnikov in voznega parka ključno vlogo. Pri metodi MILP na primeru dela Evrope imajo GIS-i le vlogo računanja železniških razdalj, medtem ko imajo pri računanju pristaniških zaledij s pomočjo orodja

*Slika 2: Prikaz pristaniških zaledij izbranih jadranskih in severnomorskih pristanišč z Voronoijevim diagramom. ► (str. 218)*



Preglednica 2: Primerjava treh izstopajočih geoinformacijskih projektov, izvedenih na Fakulteti za logistiko.

primer projekta	območje projekta	uporabljena metoda	vloga GIS-ov	integracija matematičnega modela z GIS-i	projekt izdelan za potrebe gospodarskega ali javnega sektorja	sodelovanje študentov Fakultete za logistiko	jasno opredeljen okoljevarstveni pomen
Optimizacija poti zimskega vzdrževanja cest	večji del mesta Celje	<ul style="list-style-type: none"> <li>problem kitajskega poštarja s prioritetskimi vozlišči</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>testiranje matematičnega modela v resničnem okolju</li> <li>vizualizacija</li> </ul>	DA	NE	NE	DA
Optimizacija poti in voznih redov za prevoz otrok v šolo	Občina Laško	<ul style="list-style-type: none"> <li>določanje lokacij</li> <li>problem usmerjanja šolskih avtobusov</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>zbiranje podatkov za določitev optimalnih lokacij postajališč</li> <li>računanje optimalnih poti, urnikov voženj in voznega parka</li> <li>vizualizacija</li> </ul>	DA	DA	DA	DA
Modeliranje pristaniškega zaledja z izbiro pristanišča	deli srednje, zahodne, južne, vzhodne in jugovzhodne Evrope	<ul style="list-style-type: none"> <li>AHP (Analytic Hierarchy Programming)</li> <li>MILP (Mixed Integer Linear Programming)</li> <li>konstrukcija Voronoijevega diagrama</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>računanje železniških razdalj</li> <li>računanje in vizualizacija pristaniških zaledij</li> </ul>	DA	NE	NE	NE

»Create Thiessen Polygons« (Esri 2014) ključno vlogo. Pri vseh treh raziskavah imajo GIS-i nepogrešljivo vlogo pri vizualizaciji vmesnih in končnih rezultatov.

Projekt za Občino Laško je bil narejen po naročilu Občine. Pri njem so sodelovali tudi študenti Fakultete za logistiko. Raziskavi na primeru Celja in Laškega imata jasno opredeljen okoljevarstveni pomen, še posebej slednja, ki je bila kasneje nadgrajena z raziskavo ugotavljanja vpliva optimizacije poti in voznih redov prevoza otrok v šolo na zmanjšanje emisij ogljikovega dioksida (Kramberger, Dragan in Prah 2014).

## 5 Sklep

GIS-i pomenijo nepogrešljivo orodje v logistiki in transportu, zaradi česar jih mnoge ustanove terciarne izobraževanja vključujejo v svoje študijske programe in raziskovalno delo. Na Fakulteti za logistiko Univerze v Mariboru poučujemo GIS-e pri treh različnih študijskih programih. Pri tem se kaže kontinuiranost geoinformacijskih vsebin, ki pomeni njihovo nadgradnjo z visokošolskega oziroma univerzitetnega programa na magistrski program. Kratka primerjava z Univerzo v Linköpingu na Švedskem, ki ima v okviru magistrskega študijskega programa Inteligentni transportni sistemi in logistika študijski predmet Geografski informacijski sistemi v logistiki, nam pokaže, da je predmet v primerjavi z našimi nekoliko manj obsežen, saj obsega na urniku 38 ur, samostojnemu delu je namenjenih 122 ur, ovrednoten pa je s 6 ECTS. Ker je študijski program le magistrski, tudi ni prisotne zgoraj omenjene kontinuiranosti geoinformacijskih vsebin.

Na področju raziskovalnega dela se na Fakulteti lotevamo najrazličnejših projektov. V tem članku smo izpostavili tri kot primere dobrih praks, dejansko pa je celoten nabor precej obsežnejši. Tako so tu na primer še optimizacija transporta bioloških vzorcev v bolnišnici, optimizacija poti mesečnega popisa merilnih naprav, optimizacija odvoza odpadkov ter optimizacija poti in urnikov za zbiranje nevarnih medicinskih odpadkov. Tako kot pri pedagoškem, tudi pri znanstvenoraziskovalnem delu s področja GIS-T stremimo k povezovanju z gospodarskimi partnerji in k reševanju resničnih, uporabnih problemov.

## 6 Viri in literatura

- An overview of the Server toolset. Medmrežje: <http://desktop.arcgis.com/en/desktop/latest/tools/network-analyst-toolbox/an-overview-of-the-server-toolset.htm> (22. 1. 2016).
- Bamberg, S., Fuiji, S., Friman, M., Gärling, T. 2011: Behaviour theory and soft transport policy measures. *Transport Policy* 18. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2010.08.006>
- Chou, C. C. 2010: AHP model for the container port. *Journal of marine science and technology* 18-2. Creating a network dataset. Medmrežje: <http://desktop.arcgis.com/en/desktop/latest/guide-books/extensions/network-analyst/creating-a-network-dataset.htm> (22. 1. 2016).
- CSCMP supply chain management definitions and glossary. Medmrežje: <https://cscmp.org/about-us/supply-chain-management-definitions> (5. 1. 2016).
- Dragan, D., Kramberger, T., Lisec, A., Intihar, M., Prah, K. 2011: Using GIS for the optimization of pupils transportation: the case of Laško municipality. *Logistics & sustainable transport* 2-3.
- Esri (Environmental System Research Institute) 2008. ArcLogistics (Različica 9.3) [Računalniški program].
- Esri (Environmental System Research Institute) 2009. ArcGIS (Različica 9.3.1) [Računalniški program].
- Esri (Environmental System Research Institute) 2014. ArcGIS (Različica 10.2.2) [Računalniški program].
- Heywood, I., Cornelius, S., Carver, S. 2011: An Introduction to geographical information systems. Pearson.
- Kramberger, T., Dragan, D., Prah, K. 2014: A heuristic approach to reduce carbon dioxide emissions. *Transport* 167-5. DOI: <http://dx.doi.org/10.1680/tran.11.00053>

- Kramberger, T., Rupnik, B., Štrubelj, G., Prah, K. 2015: Port hinterland modelling based on port choice. *Promet* 27-3. DOI: <http://dx.doi.org/10.7307/ptt.v27i3.1611>
- Kramberger, T., Žerovnik, J., Štrubelj, G., Prah, K. 2013: GIS technology as an environment for testing an advanced mathematical model for optimization of road maintenance. *Central European journal of operations research* 21-1. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10100-012-0265-4>
- Miller, H. J., Shaw, S. L. 2001: *Geographic information systems for transportation. Principles and applications*. Oxford.
- Miller, H. J., Shaw, S. L. 2015: Geographic Information Systems for transportation in the 21<sup>st</sup> Century. *Geography Compass* 9-4. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/gec3.12204>
- Navteq 2008. Navteq's navstreets street data [Podatkovna datoteka].
- Network analysis coverage. Medmrežje: [http://resources.arcgis.com/en/help/arcgis-rest-api/index.html#/Network\\_analysis\\_coverage/02r300000034000000/](http://resources.arcgis.com/en/help/arcgis-rest-api/index.html#/Network_analysis_coverage/02r300000034000000/) (18. 3. 2016).
- RRG spatial planning and geoinformation (RRG) 2015. Road and railway networks and freight villages in Europe, RRG GIS database [Podatkovna datoteka].
- Šumrada, R. 2005: *Strukture podatkov in prostorske analize*. Ljubljana.
- What is traffic data? Medmrežje: <http://desktop.arcgis.com/en/desktop/latest/guide-books/extensions/network-analyst/traffic-what-is-traffic-data.htm> (21. 1. 2016)



## ZEMLJEVID BESEDIL PESMI FRANKA ZAPPE

**dr. Blaž Repe**

Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani  
blaz.repe@ff.uni-lj.si

UDK: 91:821.111(73).09

821.111(73).09:929Zappa F.

### IZVLEČEK

#### **Zemljevid besedil pesmi Franka Zappe**

Frank Zappa je bil ameriški glasbenik, kitarist in skladatelj. Obenem je bil avtor skorajda vseh svojih besedil. Zapustil je neverjeten opus preko 1700 skladb oziroma pesmi, ki v pretežni meri vsebujejo besedila. V njegovih pesmih je moč najti kopico neposrednih geografskih pojmov in tudi bolj ali manj prikritih referenc nanje. Izvedli smo temeljito analizo vseh njegovih besedil pesmi, ki jih je uradno izdal za časa svojega življenja. Zgradili smo bazo podatkov, kjer smo pojme z geografsko navezavo iz besedila pretvorili v lokacijo. Poleg para koordinat smo pojmom pripisali tudi dodatne kvantitativne in kvalitativne podatke. Bazo podatkov smo pretvorili v točkovni vektorski sloj ter izvedli osnovno statistično in prostorsko analizo geografskih referenc. Izdelali smo tudi nekaj kartografskih prikazov različnih meril.

### KLJUČNE BESEDE

Frank Zappa, besedila, baza podatkov, lokacija, centriodi, GIS analiza, zemljevidi

### ABSTRACT

#### **A map of Frank Zappa's lyrics**

Frank Zappa was an American musician, guitarist and composer. He was also the author of nearly all of the lyrics of his songs. He left a vast opus of more than 1700 compositions and most of them contain lyrics. There are many direct geographical terms in his songs (lyrics) and more or less indirect references to these terms. We performed a careful analysis of all lyrics of his songs that were officially published during his lifetime. We constructed a database, where all the geographical terms were transformed into location. Apart from a pair geographical coordinates the terms were equipped with additional quantitative and qualitative data. Database was converted into point vector layer and executed a basic statistical and GIS analysis of geographical references. We also produced some maps in different scales.

### KEY WORDS

Frank Zappa, lyrics, database, location, centroids, GIS analysis, maps



## 1 Uvod

Frank Vincent Zappa (Zappa) je bil ameriški skladatelj, kitarist in filmski režiser. Rodil se je 21. decembra 1940 v mestu Baltimore (Maryland, ZDA) in umrl 4. decembra 1993, doma v Los Angelesu (Kalifornija, ZDA). Zappa se je v svoji več kot 30-letni karieri dokazal kot ploden in izstopajoč glasbenik, skladatelj, kitarist in vodja različnih glasbenih skupin in orkestrrov. Bil je velik kritik politikov, splošnega izobraževalnega sistema in organizirane (ameriške) pop-religije. Zavzemal se je za svobodo govora in ukinitve cenzure. Vse to se je močno odražalo v njegovih izjavah, intervjujih in besedilih pesmi (Frank Zappa 2016). Zapis je namenoma skromen, saj je opus pokojnega Zappe tako raznolik in pester, predvsem pa tako neverjetno obširen, da ga je nemogoče korektno zaobjeti, v kakršnikoli skrajšani različici. Veliko boljši in natančnejši opisi se nahajajo na straneh, ki jih pišejo njegovi oboževalci (Podbrežnik 2016) oziroma so posvečene zgolj Zappi (Zappa Wiki Jawaka 2016) ali raznih spletnih forumih (Zappateers 2016).

Zappa je bil na prvem mestu glasbenik v najširšem pomenu besed. Bil je predvsem električni kitarist in občasen pevec, čeprav je na svojih albumih igral praktično vse inštrumente. Bil je skladatelj in tekstopisec. Bil je idejni, duhovni in delovni vodja ne le glasbenih skupin, ampak tudi orkestrrov. Bil je producent svojih albumov. Bil je pionir tehnik snemanja glasbe, izumitelj učinkov igranja električne kitare in je inovativno uporabljal studijske naprave. Bil je mentor in promotor glasbenih skupin in neveljavljenih glasbenikov. Bil je neumoren izdajatelj svoje glasbe in je bil od svojih začetkov v zgodnjih šestdesetih letih prejšnjega stoletja do 9. junija 1988, ko je odigral svoj zadnji koncert v Genovi (Italija), praktično ves čas na turnejah.

Z eno samo besedo (tekstopisec), smo se dotaknili gromozanskega področja, ki zajema besedila njegovih pesmi. Za časa njegovega življenja je Zappa izdal kar 62 albumov in do danes (2016) so jih posthumno izdali še nadaljnjih 40. Nekateri izmed njih so izdane na več zgoščenkah. Skupaj je bilo izdanih kar 137 zgoščenk, s preko 1720 samostojnimi pesmimi, med katerimi sta najkrajši 10 sekundni, najdaljša pa traja kar 37 minut in 34 sekund. V skupni dolžini njegova uradno izdana glasba traja torej nekaj minut manj kot 130 ur. Glavnina od tega je avtorske glasbe, z njegovimi avtorskimi besedili (1197, ali 69,6 % njegovih pesmi vsebuje vsaj neko vrsto besedila). V njih se pojavljajo, prepletajo in izpostavljajo družbena satira in kritika, spolnost, politične teme ter nasprotovanje vladajoči politiki, organizirani pop-religiji, ameriškemu izobraževalnemu sistemu, uživanju drog, alkoholu in drugem. Do skrajnosti se je norčeval iz uveljavljenih, najpogosteje ameriških in glasbenih stereotipov ter različnih odvisnosti, zablod in praks. Besedila kažejo na njegovo izjemno razgledanost s poznavanjem zgodovine, filozofije, sociologije, muzikologije, psihologije in drugega. Glasbeni kritiki, Zappologi, oboževalci in uveljavljeni muzikologi so secirali pomen, ideologijo in filozofijo njegovih besedil. Napisali so obsežna dela in monografije (Watson 1994 in 1998; Gray 1996; Walley 1996; Russo 1998; Slaven 2003; Miles 2004; Lowe 2005). Vendar do sedaj še ni bilo zaslediti, kako se v Zappovih besedilih pojavljajo geografski pojmi, ki bi jih lahko postavili na zemljevid. Delo se je izkazalo za zahtevno in zelo obsežno, saj je bilo treba pregledati in tudi preposlušati ogromno količino gradiva ter pogosto izbrskati tudi posredne in skrite geografske reference. Je pa že objavljen spletni zemljevid, kjer so zbrane vse njegove koncertne lokacije, sezname pesmi in drugo (The Circular Motion 2016).

Ideja za prispevek se je porodila ob objavi zemljevida Toma Waitsa (Nordström 2014).

## 2 Metodologija

Zamisel se sliši dovolj preprosta in enostavna. Pregledati, prebrati vsa besedila in včasih tudi preposlušati pesmi (razumevanje branega besedila je bilo na nekaterih albumih praktično nemogoče) od prvega do vključno zadnjega, 62. albuma (*Yellow Shark*), ki ga je izdal še za časa svojega življenja. Z mislimi, da bo iz tega nastal zemljevid, smo nato zasnovali bazo podatkov vseh geografskih referenc. Iskali

smo besede ali besedne zveze (**pojme ali reference**), ki jih je mogoče postaviti v obliki točke (**lokacije, centroida**) na zemljevid. Izločili smo prav vse pojme, ki imajo vsaj nekakšno geografsko komponento in je to mogoče postaviti na zemljevid.

Kaj smo pregledali? Seznam pregledanih pesmi in besedil temelji na uradnem, kronološkem in splošno veljavnem seznamu albumov, ki je sicer na uradni strani (medmrežje 1). Ta seznam upošteva naš najpomembnejši vir besedil, spletno stran Information Is Not Knowledge (IINK 2016), ki vsebuje tudi vsa besedila pesmi. Pregledali smo (zaenkrat) zgolj CD različice albumov (zgoščenke), izdane za časa njegovega življenja. Kot izjema je dodana še leta 1998 izdana, posthumna zgoščenka *Mystery Disc*, ker je v vinilni obliki izšla že prej. V seznam niso vključene mnoge kompilacije, če so pesmi na njih identične izvirkom. Pri pesmih, ki imajo v različnih izvedbah enako besedilo, je to označeno v alternativnih verzijah (na primer *Who Needs A Peace Corps?* se pojavi še trikrat). Če so razlike v besedilih malenkostne in to prav v geografskem pojmu, je zapisan le tisti del besedila, kjer se pojavi razlika (na primer *Wonderful Wino*). Če je pesem bistveno drugačna ali ima celo drugačen naslov (na primer *Illinois Ene-ma Bandit*, *Lonsome Cowboy Burt*), je celotna pesem analizirana ponovno, z vsemi referencami.

Ob izboru, ali bo pojem kot lokacija pristal v zaključni bazi podatkov, se je izoblikovalo nekaj pravil, posebnosti oziroma izjem, ki jih je za razumevanje (in utemeljitev) končnega rezultata, potrebno vzeti v obzir:

- V kolikor ni bilo mogoče določiti natančne lokacije oziroma če gre za zelo splošen pojem (na primer država, mesto, ulica ...), je bil uporabljen centroid iz Google Maps ali pa je bil izračunan na podlagi geometrijske oblike. Centroid Združenih držav Amerike je tako izračunan na podlagi 48 stikajočih se zveznih držav. V nekaterih primerih so države (Francija) sestavljene iz več ozemeljsko ločenih in raztresenih delov. V tem primeru je bil izbran centroid njenega največjega dela. Če sam centroid zaradi oblike pade izven meja ali teritorija (Japonska, Izrael, Havaji), je postavljen v glavno mesto. Za centroid Evrope je bil izbran tisti, ki se nahaja v Litvi (Jennings 2013). Bližnji Vzhod (Middle East) je določen na podlagi CIA Factbook (Middle East 2016). East Side v Los Angelesu je izrisan na podlagi ArcGIS cestnega zemljevida. Centroid Polinezije je postavljena na Cookove otoke (Avarua). Tretji svet (Third world) je postavljen v Demokratično Republiko Kongo, kot eno najrevnejših svetovnih držav. Za četrti svet je izbrana na primer Avstralija. Za regijo Vzhodna obala ZDA (East Coast) je izbran centroid vseh 14 držav, ki imajo neposreden dostop do Atlantskega oceana.
- Veliko pojmov se nanašata na lokacije, ki so obstajale v šestdesetih in sedemdesetih letih prejšnjega stoletja. V kolikor je mogoče, so označene izvirne. Če to ni bilo mogoče, je bil uporabljen najboljši približek (na primer fara Sv. Alfonza v sami delti reke Columbia ne obstaja, zato je izbrana najbližja; Greek Town je postavljen v Grčijo), današnja lokacija (Chamber of Commerce v San Franciscu) ali kar centroid kraja (Ed's Cafe v Ontario, CA).
- Težava je z verigami restavracij (McDonalds, Winchel's, Howard Johnson), za katere pogosto ni mogoče ugotoviti, za katero konkretno restavracijo gre. Uporabljen je najboljši približek dejanskemu dogajanju v besedilu. Če tudi to ni mogoče, je izbran sedež družbe (na primer Gristedes). Nekatere so verjetno izmišljene (Konrad Adenauer Inn) ali jih enostavno ni mogoče najti (At Bob and Ray's Swahili restaurant, Jeans North), zato ostajajo zaenkrat nezabeležene.
- Domišljjski otok Atlantida je postavljen v Atlantski ocean na podlagi spletnega vira (Location hypotheses of Atlantis 2016). Za lokacijo gore Billy The Mountain je bila izbrana gora Double Mountain, kot najvišji vrh v gorovju Tehachapi. Popačenka besede Phyniox je dejansko mesto Phoenix v Arizoni. Kot Utopia (The Man From Utopia), je izbrano mesto Utopia, v Teksasu.
- V pesmi *He's So Gay* je omenjena Santa Monica (*Let's skate away, down Santa Monica today*). Ni jasno ali gre za kraj ali za bulvar (Santa Monica BLVD). Izbran je bil slednji, ker se po cesti dejansko lahko kotalka.
- The Closet je besedna igra za javno priznanje homoseksualnosti. V besedilih se pojavlja kot dejanska lokacija (A Token Of My Extreme). Izbran je bil istoimenski homoseksualno usmerjen lokal v Chicagu.
- Če je pojem presplošen (World, Planet, Earth, Northland), ni bil označen kot lokacija. Prav tako ne pojmi izven planeta Zemlje (na primer planeti, zvezde, galaksije).

### 3 Baza podatkov

Baza podatkov je v angleškem jeziku (končni cilj bo spletni zemljevid v angleščini), trenutni rezultat (zemljevid) pa v slovenskem. Za vsak prepoznan pojem ali referenco, ki se jo da prikazati na zemljevidu, smo v preglednici zbrali naslednje podatke:

- *ID* (zaporedna številka pojma),
- *ALBUM\_ID* (uradna zaporedna številka albuma, v katerem se pojavi pojem),
- *ALBUM* (naslov albuma),
- *YEAR* (leto izdaje albuma),
- *DISC* (na kateri zgoščenci se pojavi pojem),
- *SONG\_ID* (zaporedna številka pesmi kot se pojavi na zgoščenci, kjer se pojavi pojem),
- *SONG* (naslov pesmi),
- *LOCATION* (ime lokacije, ki je prikazana na zemljevidu; upoštevali smo vse pojme in reference, ki se jih da prikazati na zemljevidu; kjer pa referenca pa ni bila neposredna, geografska, smo pojme pogosto preoblikovali v lokacijo – na primer pojem Fazerland smo na podlagi konteksta pretvorili v Nemčijo),
- *LYR\_SHORT* (do 254 znakov dolg odlomek izvirnega besedila, kjer se nahaja pojem),
- *NO\_CHAR2* (število znakov odlomka besedila; Excelovo bazo smo pretvorili v ArcGIS atributivno bazo podatkov, ki v celici ne dovoljuje več kot 254 znakov),
- *REPEAT* (kolikokrat se pojem ponovi, saj se pojem včasih (še posebej v refrenu) večkrat ponovi; v takšnem primeru nismo beležili ločenih vnosov, ampak število ponovitev),
- *GEOGRAPHY* (vrsta lokacije; podrobneje obrazloženo v nadaljevanju),
- *REFERENCE* (vsebinska povezava med pojmom in lokacijo; podrobneje obrazloženo v nadaljevanju),
- *X* (*X* koordinata lokacije na zemljevidu; koordinate so v GCS WGS 1984 koordinatnem sistemu),
- *Y* (*Y* koordinata lokacije na zemljevidu; koordinate so v GCS WGS 1984 koordinatnem sistemu),
- *ADDRESS* (podroben opis lokacije),
- *LIVE\_ALT\_VERSIONS* (albumi, kjer se pojavi ista pesem, z istim besedilom),
- *COVER* (spletni naslov do naslovnice albuma) (slika 1).

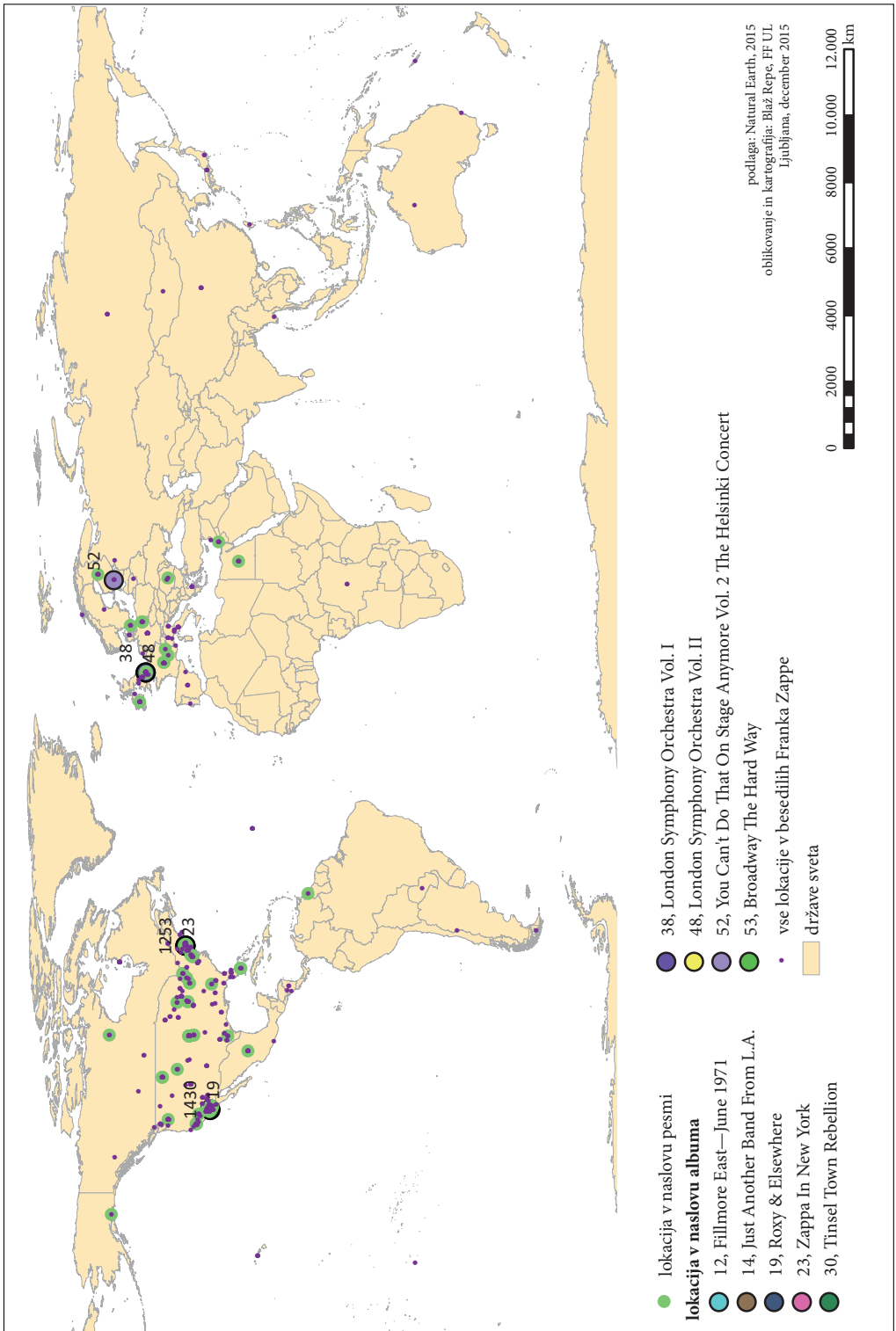
Referenca (*REFERENCE*) je vedno navedena zgolj ena sama in gre za način, kako uporabljen pojem v besedilu opredeljuje lokacijo:

- Točna lokacija (*Exact location*) je najbolj natančna opredelitev na zgradbo ali naslov natančno. V precej primerih danes tudi ne obstaja več (zgradbo so podrli). Najpogosteje gre na primer za restavracijo, nočni klub, koncertno prizorišče in križišče cest.
- Splošno (*General*) pomeni, da gre za geografski pojem brez prenesenih pomenov (na primer država, naselje, pokrajina in ulica).
- Povezava z lokacijo (*Related*) ima dva pomena. Lahko je to neposredna povezava (na primer *American way*) ali povsem splošni pojem oziroma besedna zveza, katere del (navadno v obliki pridevnika) lahko povežemo z lokacijo (na primer *Orange County Lumber Truck*, *Mexican Poncho*, *Chinese police*).
- Posredna povezava (*Indirect*) so pojmi ali besedne zveze, kjer je pojem povsem negeografski, vendar je iz besedila moč razbrati lokacijo (na primer *our country* in *land of the free* za Ameriko, *Village of the sun* je naselje Sun Village, *desert* je puščava Mojave). Posebnost je tudi Broadway, ulica oziroma predel mesta New Yorka. Vendar gre v besedilih za prenesen, širši pomen za gledališče in z njim povezano življenje in umetnost (v enem primeru je to celo ime zgradbe v Los Angelesu). V to kategorijo sodijo tudi pojmi, ki nimajo prav nobene povezave z lokacijo, beseda sama pa ima (na primer imeni oseb *Kansas* in *Minnesota* Tishman ter tip vozila *Chevrolet Monza*).
- Sinonim (*Synonym*) je drugo, bolj ali manj uveljavljeno ime za neko lokacijo (na primer *Tinsel Town* za Hollywood, *Frisco* za San Francisco, *City Of Tiny Lites* za Los Angeles, *hymie-town* za New York, *fazerland* za Nemčijo, *D.C.* za Washington D.C.).
- Jezik (*Language*) pomeni, da pojem govori neposredno o jeziku neke države, naroda ali manjšine.

ID	ALBUM ID	ALBUM	YEAR	DISC	SONG ID	SONG	LOCATION	LYR SHORT	NO CHAR2	REPEAT	GEOGRAPHY	REFERENCE	X	Y	ADDRESS	LIVE	ALT	V	COVER
1	1	Freak Out	1966	1	1	Hungry Freak America	USA	Mister America Wt	25	5	country	general	39,833	-98,583	USA	centrod	F	The MOFO Pr	http://www2.arn
2	1	Freak Out	1966	1	1	Hungry Freak America	USA	Mister America Tr	26	1	country	general	39,833	-98,583	USA	centrod	F	The MOFO Pr	http://www2.arn
3	1	Freak Out	1966	1	1	Hungry Freak Midwest	USA	ReGreat mid-western	60	2	region, US	general	42,839	-93,415	Midwest	US Re	The MOFO Pr	http://www2.arn	
4	1	Freak Out	1966	1	12	Trouble Every America	USA	As it applies to you	50	1	country	indirect	39,833	-98,583	USA	centrod	F	The MOFO Pr	http://www2.arn
5	1	Freak Out	1966	1	13	Help, I'm A R Ben Frank's	USA	Lo I could get a gig dr	90	1	restaurant	exact location	34,093	-118,379	8585 Sunset Blvd	The MOFO Pr	http://www2.arn		
6	1	Freak Out	1966	1	14	It Can't Happn Kansas, US	USA	Who could imagin	204	13	US state	general	38,484	-98,381	Kansas, US, cent	The MOFO Pr	http://www2.arn		
7	1	Freak Out	1966	1	14	It Can't Happn Mimesoia US	USA	Who could imagin	222	8	US state	general	46,343	-94,199	Mimesoia US, c	The MOFO Pr	http://www2.arn		
8	1	Freak Out	1966	1	14	It Can't Happn Washington, D	USA	Who could imagin	83	1	city	general	38,905	-77,016	Washington, D C	The MOFO Pr	http://www2.arn		
9	1	Freak Out	1966	1	15	The Return O America	USA	Flashing, man! Am	133	1	country	general	39,833	-98,583	USA	centrod	F	The MOFO Pr	http://www2.arn
10	2	Absolutely Free	1967	1	1	Plastic People United States of Ladies & Gennelms	USA		57	1	country	general	39,833	-98,583	USA	centrod	F	Understanding	http://www2.arn
11	2	Absolutely Free	1967	1	1	Plastic People United States of Fella Americans	USA		15	1	citizen	general	39,833	-98,583	USA	centrod	F	Understanding	http://www2.arn
12	2	Absolutely Free	1967	1	1	Plastic People Laurel Canyon, And there's this gu	USA		76	1	city part	general	34,117	-118,375	Laurel Canyon,	USA	Understanding	http://www2.arn	
13	2	Absolutely Free	1967	1	1	Plastic People Sunset Boulevard I hear the sound of	USA		165	1	street	general	34,092	-118,380	Sunset Blvd, L	USA	Understanding	http://www2.arn	
14	2	Absolutely Free	1967	1	1	Plastic People Crescent Height I hear the sound of	USA		165	1	street	general	34,049	-118,373	S Crescent Hegl	USA	Understanding	http://www2.arn	
15	2	Absolutely Free	1967	1	1	Plastic People Pandora's Box I hear the sound of	USA		165	1	club	exact location	34,098	-118,367	8118 Sunset Box	USA	Understanding	http://www2.arn	

Slika 1: Izsek iz Excelove baze podatkov.

Slika 2: Vse geografske reference v besedilih Franka Zappe. ► (str. 228)



- Posebnosti, ki so dodane k zgornjim opredelitvam:
  - Pri ugibanju (*Speculation*) nisimo mogli z gotovostjo potrditi (niti iz konteksta), da gre res prav za lokacijo, ki je bila na koncu izbrana. Lahko je enakovrednih lokacij več (pogosto restavracije, na primer eno izmed gostišč Ramada (Inn) v mestu Tallahassee na Floridi) ali je pojem povsem nelogičen (naveden je naslov, ki ne obstaja). V vseh primerih smo izbrali najboljši možen približek, po lastni presoji.
  - Popačenka (*Twisted*): pojem je povsem popačen, slovnično nepravilen, vendar je jasno o čem govori; najpogosteje gre za besede, ki jih uporablja oseba Thing Fish na istoimenskem albumu (*Ermerica, Egyppp-Lainnn, Las Vagrus Nevadruh*).

V stolpcu geografija (*GEOGRAPHY*) je navedeno, za kakšne vrste lokacijo gre. Najpogosteje so to na primer države, ameriške zvezne države, naselja ali njihovi deli, ulice in nočni klubi. Ker je teh lokacij veliko, so tiste bolj posebne ali specifične razdeljene v neke logične skupine:

- Prebivalec (*Citizen*) je skupina pojmov, ki se nanašajo na prebivalce oziroma pripadnike različnih etničnih, rasnih, jezikovnih skupin v najbolj splošnem pomenu besede. Lahko je to zelo neposredno (*Watch out, he's Greek, You're an Italian.*), lahko je neposredno povezano s pridevnikom (*Mexican Pope, Irish eyes*) ali rasno oziroma versko skupino (*Italian, Mexican, Jewish*, govori o Američanih ali priseljencih, vendar so postavljeni v izvorno državo Italijo, Mehiko, Izrael) in povsem posredno (*Irish Setter, Roman*).
- Državna uprava (*Administration*) združuje povezave z resničnim ali navideznim aparatom državne uprave (na primer vlada, sodstvo in parlament), javnimi službami (na primer carinska služba).
- Regija (*Region*) opredeljuje dele pokrajine, zopet v najširšem pomenu besede. So različne naravno geografske enote (celine, otočja, gorovja, puščave ...) in družbene regije, ki niso administrativne enote (Middle East).

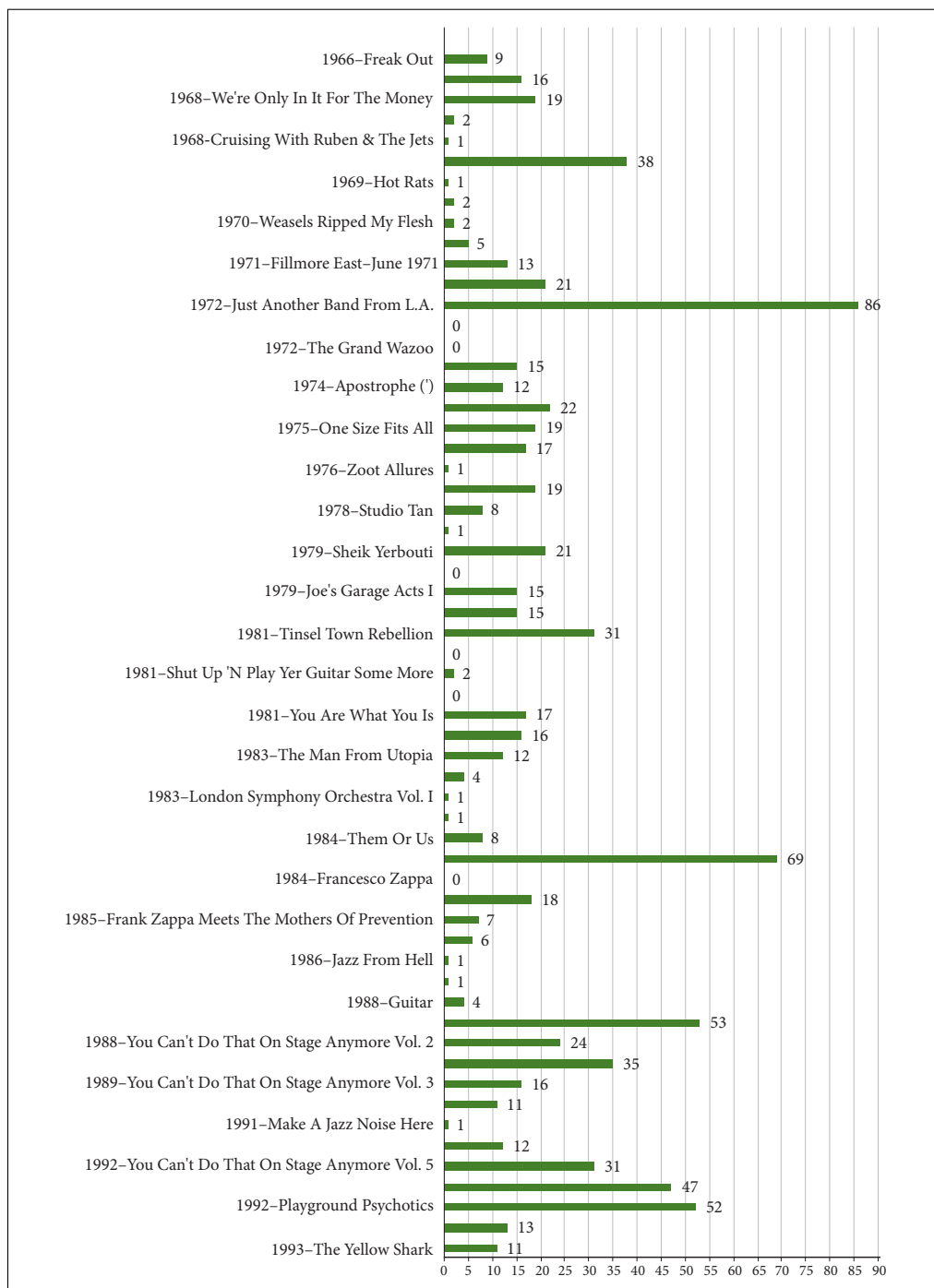
Sam zemljevid smo iz izdelali na podlagi Excelove preglednice, ki smo jo najprej pretvorili v ArcGIS dBASE atributivno bazo podatkov. Na podlagi geografskih koordinat centroidov smo iz baze podatkov ustvarili točkovni vektorski sloj lokacij. Meje držav, ameriških zveznih držav, kontinentov, otočij in drugih so izrisane na podlagi podatkov, prosto dostopnih na straneh Natural Earth (Natural Earth 2015).

## 4 Zemljevid in rezultati

Na podlagi naših, lastno določenih pravil, smo v besedilih pesmi na pregledanih Zappovih albumih našli kar 884 geografskih referenc (slika 2, ki zaradi merila ne odraža povsem realnega stanja; glej sliko 5).

Med temi albumi jih je 9, ki referenco nosijo že v samem naslovu (**Fillmore East** – June 1971, Just Another Band From **L.A.**, **Roxy** & Elsewhere, Zappa In **New York**, **Tinsel Town Rebellion**, **London** Symphony Orchestra Vol. I in Vol. II, You Can't Do That On Stage Anymore Vol. 2. The **Helsinki** Concert, **Broadway** The Hard Way). Tudi 72 pesmi nosi geografsko referenco v svojem naslovu. Pesem God Bless **America** (Live at the **Whisky A Go Go**) ima celo dve hkrati. Največ, 86 referenc vsebuje album Just Another Band From L.A. skorajda povsem zaradi pesmi Billy The Mountain, ki jih sama vsebuje kar 63. Drugi po vrsti je album Thing-Fish z 69 referencami. Naslednjih 11 albumov jih ima več kot 20, 19 albumov več kot 10, 12 več kot 1 in 9 zgolj eno samo. Štirje albumi (Waka/Jawaka, Grand Wazoo, Orchestral Favorites, Francesco Zappa) nimajo nobene reference (glej grafikon na sliki 3).

Kot je bilo že omenjeno, je pesem z največ referencami izvorna Billy The Mountain (63; sicer daljša, kasneje izdana različica jih ima zgolj 17; obe različici pa sta izvedbi v živo), ki je prava enciklopedija geografskih referenc, predvsem iz zvezne države Kalifornije. Sledi živa izvedba pesmi Don't Eat The Yellow Snow s 26 referencami. Vendar jo dejansko sestavlja venček štirih pesmi, ki si v istem zaporedju sledijo tudi na albumu Apostrophe (') (v tem primeru ima venček 11 referenc). German Lunch jih ima 19 in praktično vse se nanašajo na Nemčijo. Podobno se jih 16 nanaša na zvezno državi Illinois



Slika 3: Grafikon števila referenc po posameznih albumih v kronološkem vrstnem redu.

v pesmi *The Legend Of The Illinois Enema Bandit* ter 15 na mesto San Bernardino in 13 na Sun Village v istoimenskih pesmih.

Največ referenc se nanaša na različna naselja (261), sledijo posamezne države (149), ameriške zvezne države (102), reference na prebivalce (70), ulice (47), mestne predele (40), koncertna prizorišča (31) in nočne klube (27). Več kot polovica referenc (479) je splošnih. Kar pomeni, da se brez prenesenih pomenov in neposredno nanašajo na nek geografski pojem. 129 je z geografskim pojmom povezanih, pogosto preko pridevnika, 50 je posrednih povezav. 147 je natančnih referenc, ki jih lahko postavimo na zgradbo natančno. 26-krat je Zappa za geografski pojem uporabil bolj ali manj uveljavljen sinonim. Za 42 referenc nismo prepričani, kje se nahajajo in je zanje uporabljen približek oziroma smo pač zgolj ugibali.

Veliko lokacij je tudi podvojenih. To pomeni, da se pojmi v različnih besedilih neposredno ali posredno nanašajo na isto lokacijo. S pomočjo orodja Collect Events smo izdelali novo bazo podatkov (preglednica 1) in jo tudi prikazali (slika 5). 197 lokacij je enoznačnih, kar pomeni, da je tam zgolj en sam pojem. Največ, 70 referenc na istem mestu se nanaša na državo Združene države Amerike.

*Preglednica 1: Analiza pojmov, ki se nanašajo na isto lokacijo.*

število referenc na isto lokaciji	število pojmov
1	197
2	50
3–5	24
6–10	15
11–30	17
31–70	1

Med vsemi geografskimi referencami se najbolj severno nahaja centroid Norveške ( $68,7943^{\circ}$ ,  $15,4096^{\circ}$ ), najbolj južno leži otočje Ognjena zemlja ( $-54,0000^{\circ}$ ,  $-70,0000^{\circ}$ toki,  $-21,2341^{\circ}$ ,  $-159,7790^{\circ}$ ) in najvzhodnejše leži otok Nova Kaledonija ( $-21,2500^{\circ}$ ,  $165,3000^{\circ}$ ). Srednja vrednost vseh lokacij se nahaja na koordinatah  $39.1913^{\circ}$  in  $-76.0330^{\circ}$  oziroma zgolj 50 km vzhodno od mesta Baltimore, rojstnega kraja Franka Zappe. Najmanjši konveksni poligon, ki zajema vse lokacije se razprostira na površini kar  $330.814.513 \text{ km}^2$  (slika 6).

879 lokacij se nahaja na kopnem, le 5 v morju. Štiri morske lokacije se nanašajo na Atlantido, starodavni mitološki otok in civilizacijo. Dejansko gre sicer za referenco na pesem Atlantis (Atlantida), škotskega pevcu Donovanu (Leitch 1968), ki poje prav o tem otoku in jo pevec izvirno postavlja v Atlantik. Druga referenca se nanaša na nesrečo tankerja Exxon Valdez in mesto razlitja nafte v zalivu Princa Williama na Aljaski. Slabe štiri petine vseh lokacij (694) se nanaša na Severno Ameriko, sledi Evropa s 152, Azija z 19, Afrika s 7 in Avstralija z Oceanijo ter Južna Amerika vsaka po 4. Prostorsko razporeditev lokacij lepo odraža njihova gostota (slika 7).

Sloveniji najbližje lokacije se nahajajo v Italiji: Benetke, Pistoia, Firenze in centroid države Italija (slika 8).

Zappa je bil državljani Združenih držav Amerike, večino svojega življenja ter celotno svoje ustvarjalno obdobje je preživel v zvezni državi Kaliforniji – od leta 1951 naprej v mestih Lancaster, Ontario, Cucamonga, Pomona (Zappa 1989; Chronology 2016); glavnino tega, od leta 1965 naprej pa je preživel v mestu Los Angeles. Vse to se močno odraža tudi v geografiji v njegovih besedilih. Kar 656 referenc

*Slika 4: Države in naselja v besedilih Franka Zappe. ► (str. 232)*

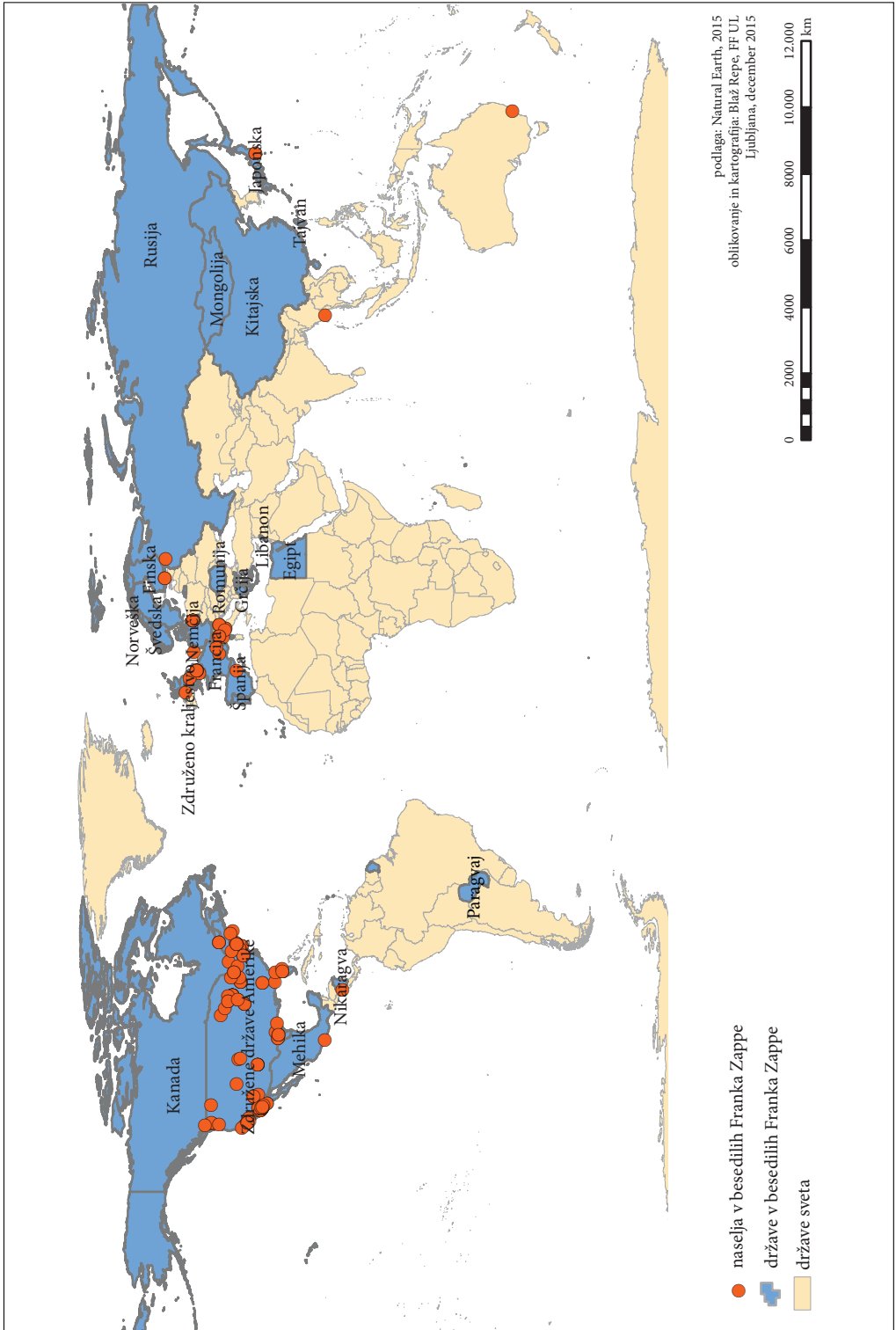
*Slika 5: Število pojmov, ki se nanašajo na isto lokacijo. ► (str. 233)*

*Slika 6: Ekstremne koordinate lokacij iz besedil Franka Zappe. ► (str. 234)*

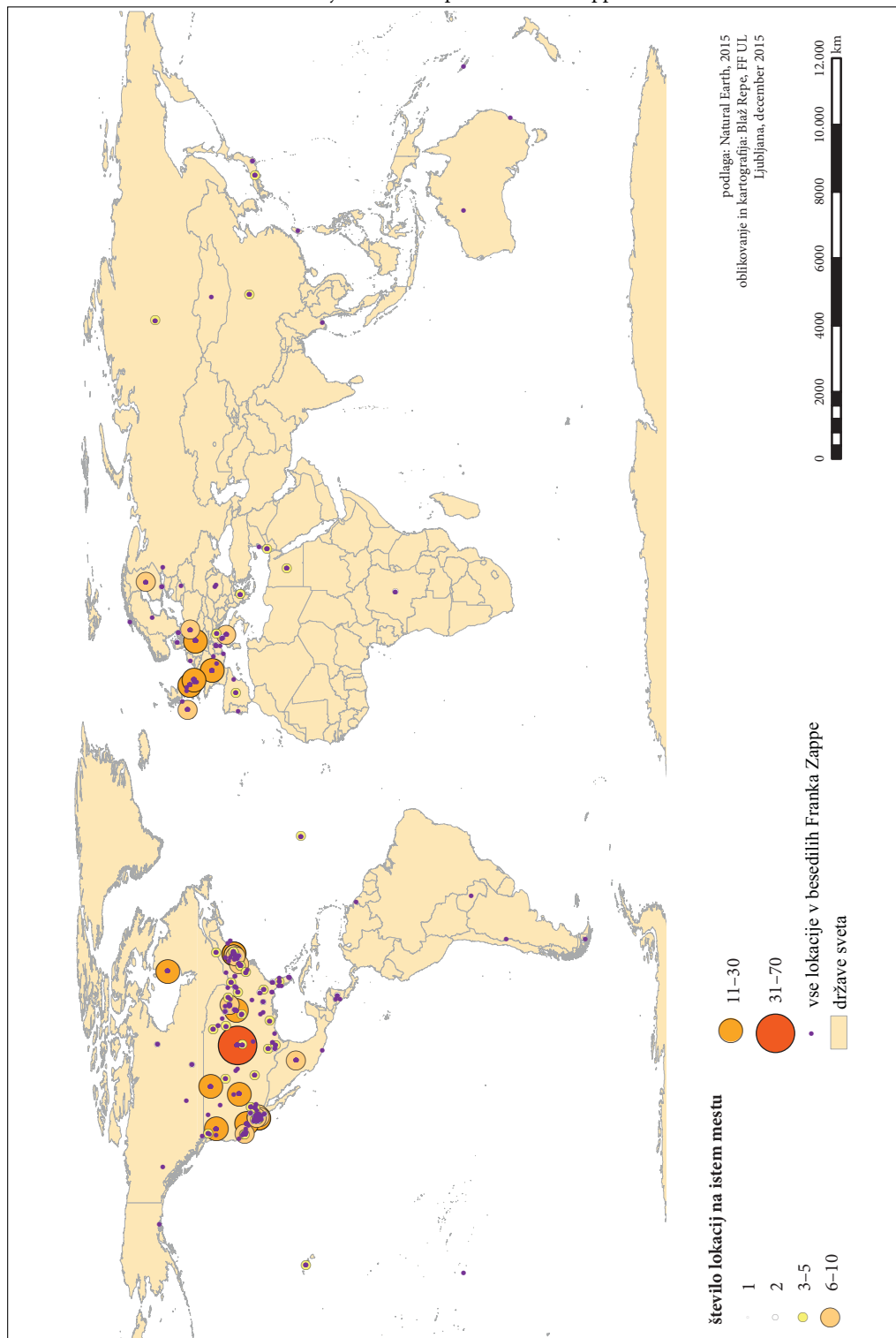
*Slika 7: Gostota lokacij. ► (str. 235)*

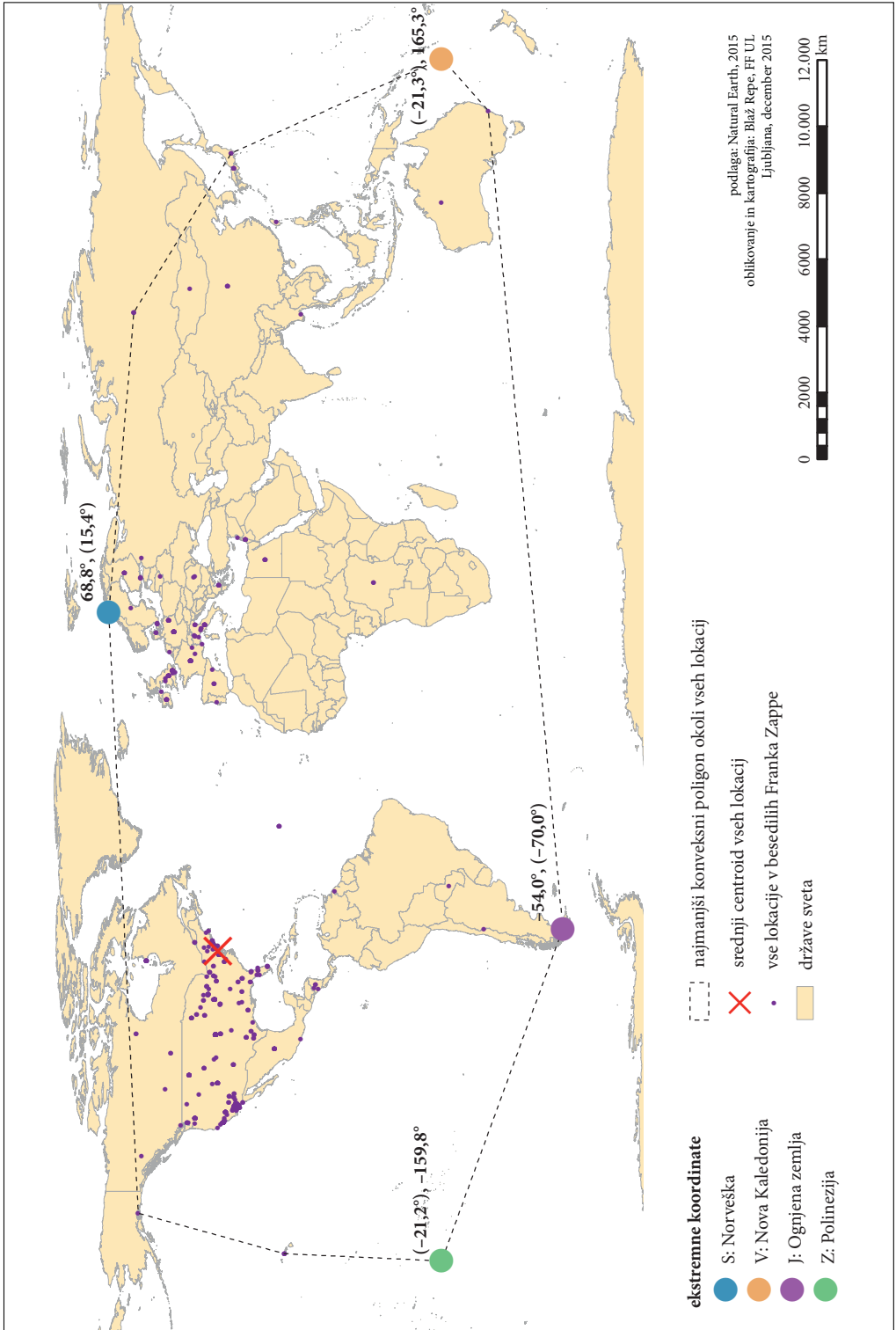
*Slika 8: Lokacije v bližini Slovenije. ► (str. 236)*



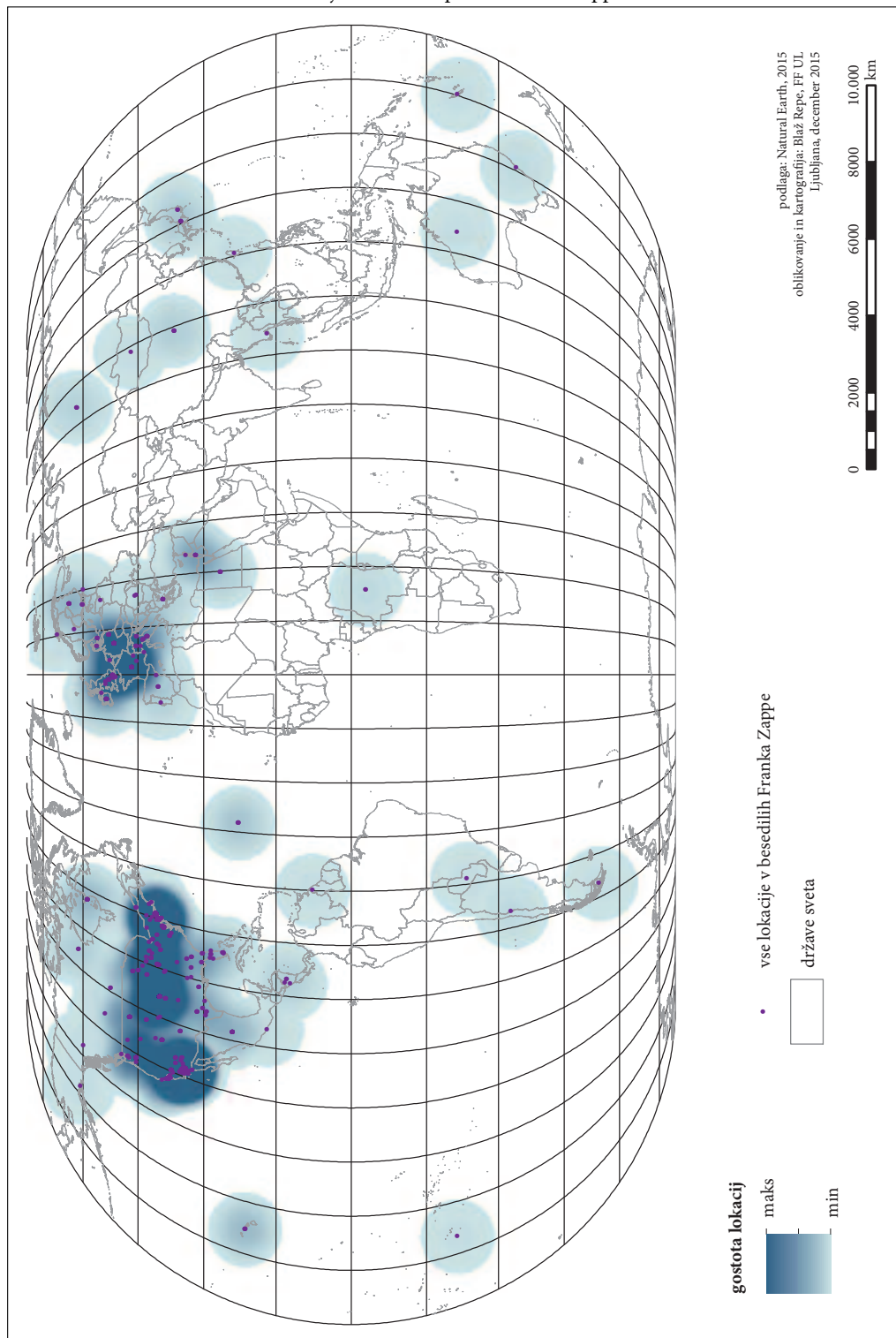


# Zemljevid besedil pesmi Franka Zappe

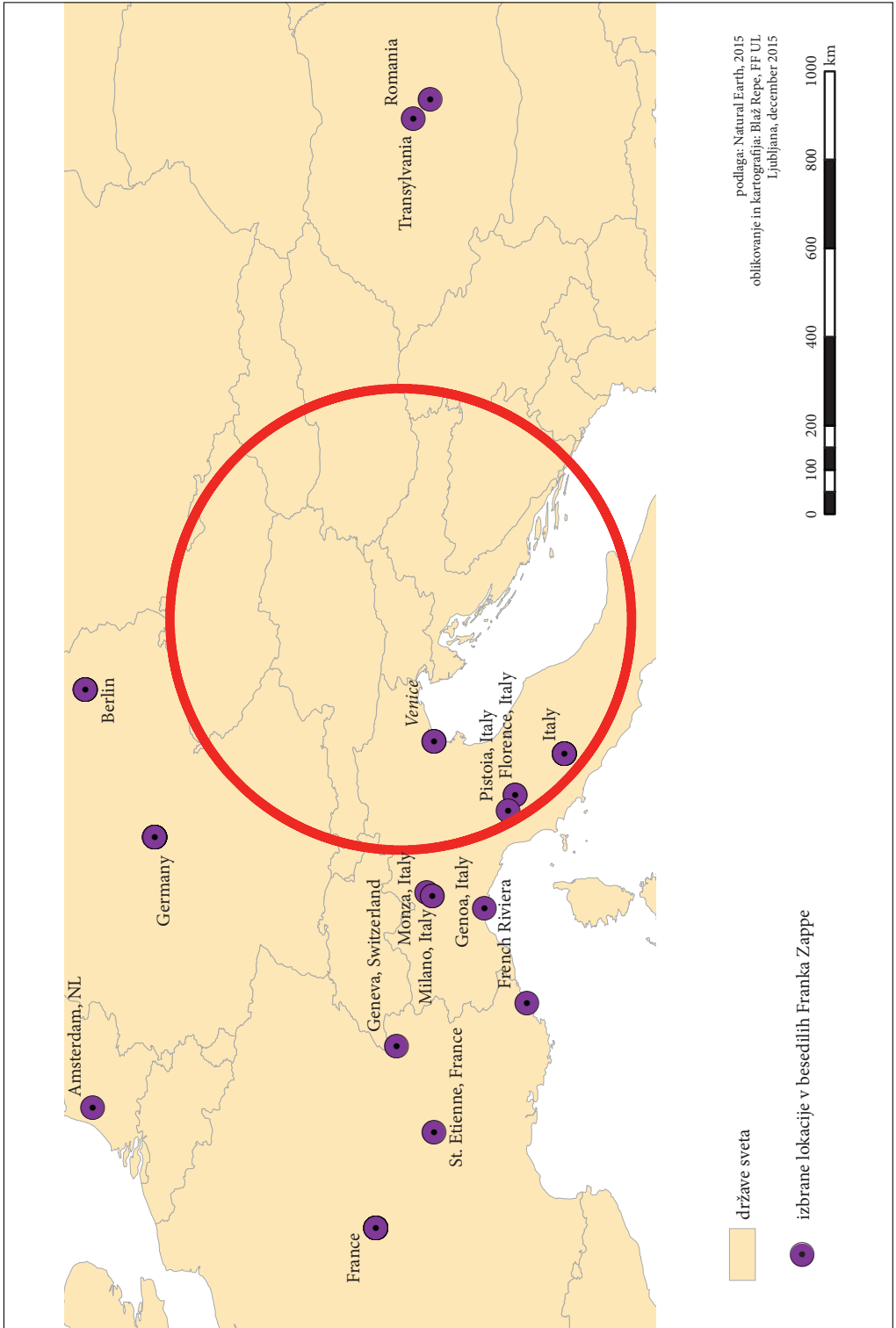




# Zemljevid besedil pesmi Franka Zappe



# Blaž Repe



se tako ali drugače nanaša na ZDA, kar predstavlja 74,2 % vseh lokacij. 210 se jih nanaša na naselja in še dodatnih 38 na posamezne njihove dele (na primer Hollywood v mestu Los Angelesu ali Bronx v mestu New York City), 102 na zvezne države, 61 na samo državo ZDA in 13 na njene prebivalce, 41 je ulic, omenjenih je 27 nočnih klubov in 25 koncertnih prizorišč, 22 cerkva, 16 restavracij in isto število vladnih uradov, 13 krat je omenjena regija in 10 hotelov. Omenjeni so še zapori, trgovine, okrožja, stavbe, gore, snemalni studii, letališča, parki, šole ter po enkrat jezik, radijska postaja in športno moštvo (slika 9).

Glavnina referenc v ZDA se nahaja v zvezni državi Kaliforniji (261) (slika 10), od tega 165 v mestu Los Angeles in od teh je kar 45 natančnih lokacij na zgradbo natančno med katerimi je največ klubov, restavracij in koncertnih prizorišč (slika 11).

ArcGIS zemljevid je zasnovan tako, da se ob preletu z miško preko točkovne lokacije samodejno izpiše del besedila, ki vsebuje referenco (slika 11). Ob aktiviranju t.i. HTML Popup in kliku na lokacijo pa izskoči okence, ki vsebuje vse osnovne podrobnosti o sami lokaciji (slika 12), vključno z naslovnico albuma in povezavo do izvorne strani z besedilom.

Glavnino koordinat, naslovov in vseh ostalih lokacij smo našli in locirali s pomočjo spletnega portala Google Zemljevidi ali Google Zemlja. Ostale lokacije smo našli s pomočjo različnih spletnih in tiskanih virov.

## 5 Sklep

Izdelava zemljevida geografskih referenc v besedilih Franka Zappe se je izkazala kot izjemen zahtoj, saj je referenc ogromno, te pa so tudi izjemno raznolike in raznovrstne. Mnogokrat so pomeni skriti, preneseni ali posredni. Opravilo je še posebej zahtevno za ne Američana, saj prepoznavanje nekaterih pojmov zahteva obilo znanja iz geografije, splošne razgledanosti in popularne kulture ter tudi povsem vsakdanjih stvari, kot so imena trgovin in restavracij. Delo so še dodatno oteževale reference v besedilih na starejših albumih, saj lokacije ne obstajajo več. Zato je bilo vključenega veliko poizvedovanja po spletu in spletnih forumih posvečenih Zappi. V nekaterih primerih ni šlo brez pomoči ljudi, živčih v ZDA. Kot je že bilo navedeno, nekaterih referenc sami nismo mogli najti. Zagotovo smo kakšen pojem izpustili, kakšnega pa nepravilno interpretirali in postavili na napačno mesto.

Največ dela je bilo vsekakor z albumom Thing-Fish. Gre za odrsko delo, ki izmed vseh albumov premore največ besedila. Poleg tega je Zappa zanj izumil poseben jezik, ki ga je v popolnosti zapel ali odrecital njegov vokalist in kitarist Ike Willis. Gre za fonetično popačenje angleškega jezika, v slogu temnopoltih Američanov iz prve polovice 20. stoletja. Pomen besed razkrije zahtevna kombinacija poslušanja in branja besedila. Drug trd oreh je bila vsekakor satirična in absurdna zgodba o gori Billy in njegovi ženi, drevesu Ethel. Sama zgodba vsebuje tisoč in eno šalo, razumljivo pretežno Američanom, ki so živeli v šestdesetih letih prejšnjega stoletja v Kaliforniji. Poleg tega vsebuje ogromno lokalnih referenc, ki so terjale podrobno branje in veliko časa. Podobno velja za pesem Broken Hearts Are For Assholes, ki je zahtevala odkrivanje homoseksualne scene v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja v New Yorku.

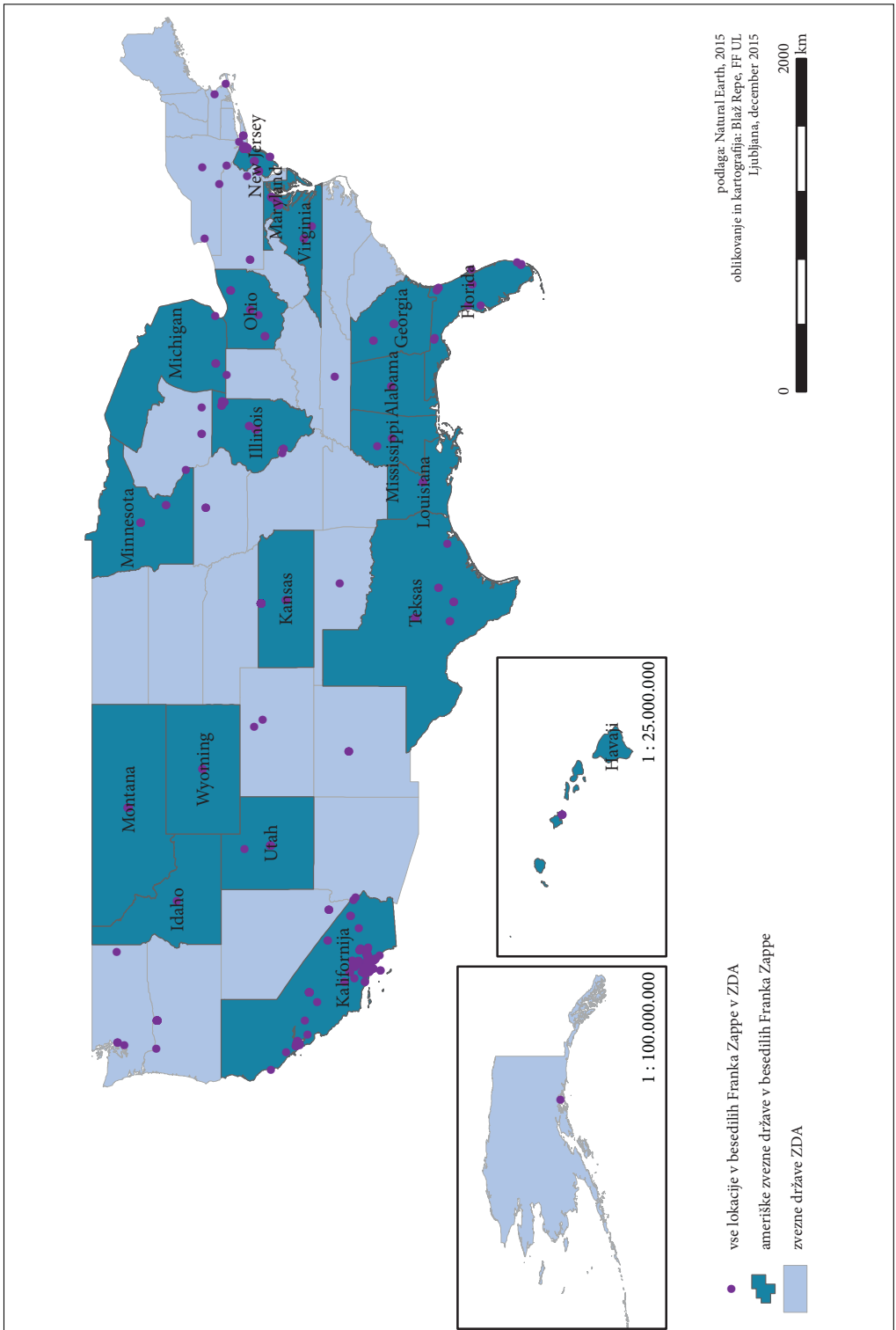
Izkazalo se je, da je bil Zappa sam izjemno tudi geografsko razgledan. V živo izvedenih pesmih je geografske reference prilagajal neposredno na odru, glede na to, kje je potekal koncert, pa naj je bil v Los Angelesu, New Yorku, Berlinu, Londonu, Ženevi ali Helsinkih.

Delo vsekakor še ni končano, saj obstaja želja, da se obdelata vse uradno izdane albume. Poleg tega bo v nadaljevanju zemljevid ugledal luč sveta tudi v spletni različici. S tem bo omogočen dostop širše javnosti do zemljevida, posledično bo zemljevid podvržen kritiki oboževalcev in častilcev Franka Zappe. Vendar bo to omogočilo njegovo izboljšavo in popravke.

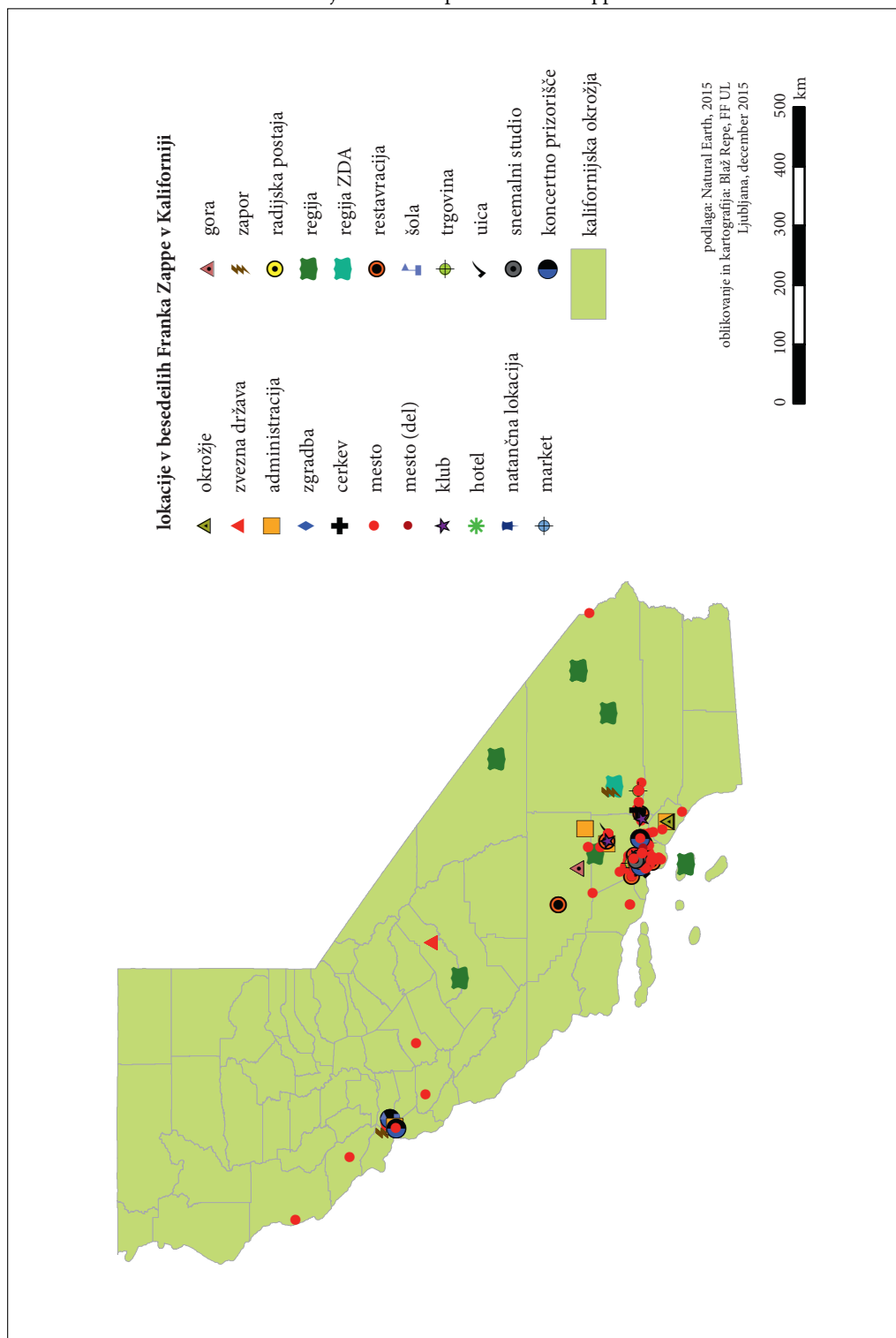
*Slika 9: Reference v besedilih Franka Zappe, ki se nanašajo na ZDA. ► (str. 238)*

*Slika 10: Vrsta lokacij v zvezni državi Kalifornija. ► (str. 239)*

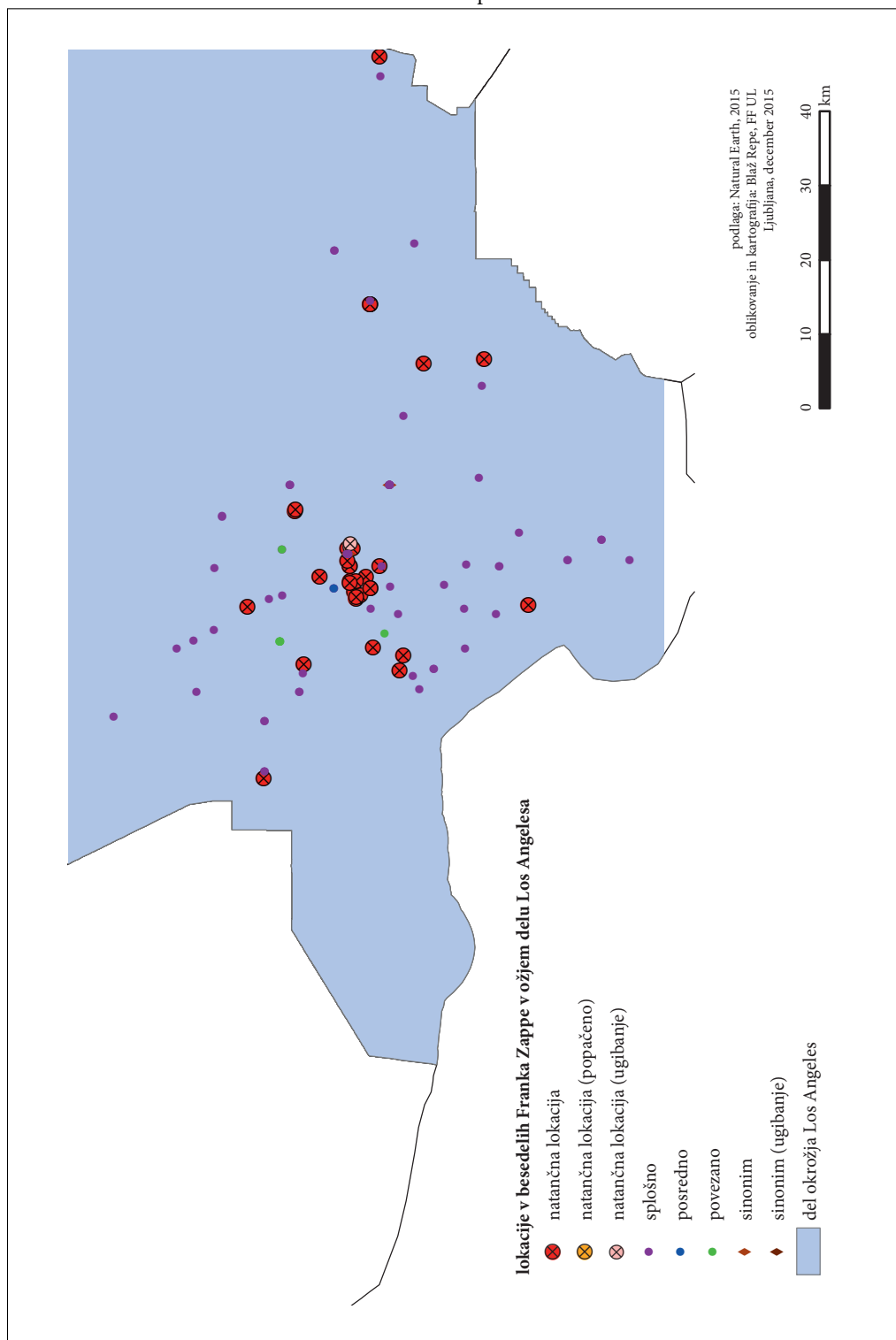
*Slika 11: Način, kako pojem opredeljuje lokacijo v mestu Los Angeles. ► (str. 240)*



## Zemljevid besedil pesmi Franka Zappe









Slika 12: Avtomatično aktiviranje dela besedila ob preletu miške preko točke (levo) in aktiviranje spletnega okna (HTML Popup) s klikom na samo točko (desno).



## 6 Zahvala

Najpomembnejša zahvala gre **Románu Garcíi Albertosu**, ki je dovolil uporabo besedil na njegovi spletni strani »Information Is Not Knowledge« (IINK 2016), saj bi bilo brez tega analizo in zemljevid še mnogo težje izdelati. Poleg tega gre zahvala uporabnikom spletnega foruma »Zappateers« **franktomatozappa**, **drdork** in **rubbershirt** za informacije o lokacijah, ki jih sam nisem mogel najti. Izjemno veliko količino uporabnih razlag, namigov in podatkov sem uspel najti na spletni strani »ARF. The Home Of Frank Zappa Heritage Studies«, v rubriki »Notes and Comments« (<http://www.arf.ru/Notes/andx.html>).

Hvala tudi **Mariji**, ker mora že leta in leta kar naprej poslušati njej neposlušljivo glasbo.

## 7 Viri in literatura

- Chronology. Medmrežje: <http://globalia.net/donlope/fz/chronology/index.html> (2. 2. 2016).
- Frank Zappa. Medmrežje: [https://sl.wikipedia.org/wiki/Frank\\_Zappa](https://sl.wikipedia.org/wiki/Frank_Zappa) (1. 2. 2016).
- Gray, M. 1996: Mother! The Frank Zappa story. London.
- IINK 2016: Information is not knowledge. Medmrežje: <http://globalia.net/donlope/fz/index.html> (1. 2. 2016).
- Jennings, K. 2013: Why the center of Europe is really hard to pinpoint. Medmrežje: <http://www.cntraveler.com/stories/2013-09-23/center-europe-purnuskes-lithuania-maphead-ken-jennings> (1. 2. 2016).
- Leitch, D. P. 1968: Atlantis (pesem), Barabajagal (album). New York. Medmrežje: [https://www.youtube.com/watch?v=\\$=leI7sfmipuI](https://www.youtube.com/watch?v=$=leI7sfmipuI) (2. 2. 2016).
- Location hypotheses of Atlantis. Medmrežje: [https://en.wikipedia.org/wiki/Location\\_hypotheses\\_of\\_Atlantis](https://en.wikipedia.org/wiki/Location_hypotheses_of_Atlantis) (1. 2. 2016).
- Lowe, K. F. 2005: The words and music of Frank Zappa. Lincoln, Nebraska. Medmrežje 1: <http://www.zappa.com/fz/discography/index.html> (1. 2. 2016).
- Middle East. CIA World Factbook. Medmrežje: [https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/wfbExt/region\\_mde.html](https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/wfbExt/region_mde.html) (1. 2. 2016).
- Miles, B. 2004: Zappa: A biography. New York.
- Natural Earth. Medmrežje: <http://www.naturalearthdata.com/> (27. 7. 2015).
- Nordström, J. 2014: The Tom Waits map. Medmrežje: <http://tomwaitsmat.com/> (1. 2. 2016).
- Podbrežnik, P. 2016: Zappa, Frank. Medmrežje: <http://www.rockline.si/podrobnosti-izvajalca/zappa-frank-352> (1. 2. 2016).

- Russo, G. 1998: *Cosmik debris: The collected history and improvisations of Frank Zappa*. New York.
- Slaven, N. 2003: *Electric Don Quixote (The definitive story of Frank Zappa)*. London.
- The circular motion – A great Google-y Moogle-y. Medmrežje: <http://www.igelity.de/fzmaps/index.php> (1. 12. 2016).
- Walley, D. 1996: *No commercial potential (The saga of Frank Zappa)*. New York.
- Watson, B. 1994: *Frank Zappa: The negative dialectics of poodle play*. New York.
- Watson, B. 1998: *The complete guide to the music of Frank Zappa*. London.
- Zappa Wiki Jawaka. Medmrežje: [http://wiki.killuglyradio.com/wiki/Main\\_Page](http://wiki.killuglyradio.com/wiki/Main_Page) (1. 2. 2016).
- Zappa, F. 1989: *The real Frank Zappa book (with Peter Occhiogrosso)*. New York.
- Zappateers. Medmrežje: <http://www.zappateers.com/bb/index.php> (1. 2. 2016).

## ARHIVIRANJE DIGITALNIH PROSTORSKIH PODATKOV

**Gregor Završnik**

Arhiv Republike Slovenije

gregor.zavrsnik@gov.si

UDK: 91:659.2:004

005.922.3:004.63

### IZVLEČEK

#### **Arhiviranje digitalnih prostorskih podatkov**

Zajem in vzdrževanje prostorskih podatkov predstavlja znaten, če ne največji strošek pri vzpostavitvi GIS. Ko ustvarjeni podatki niso več aktualni, se je treba odločiti, kakšno vrednost še imajo. Podatke, ki so nastali pri delu javnega sektorja in imajo lastnosti arhivskega gradiva, arhiviramo v skladu z zakonodajo, v pristojnem arhivu. Arhiviramo tudi podatke, ki imajo vrednost na daljši rok, saj služijo kot podlaga za zgodovinske ali časovne analize.

V tem poglavju je predstavljen pristop k pripravi digitalnih prostorskih podatkov za dolgoročno hrambo po načelih odprtega arhivskega informacijskega sistema (OAIS). Opredeljena je vsebina informacijskega paketa, ki poleg podatkov samih vsebuje opisne informacije, potrebne za jasno razumevanje, ter zagotavlja trajnost in avtentičnost.

### KLJUČNE BESEDE

Arhiviranje, GIS, GML, življenjski cikel podatkov, dolgotrajna hramba, formati za dolgoročno hrambo, OAIS

### ABSTRACT

#### **Archiving digital spatial data**

Creating and maintaining spatial data forms a substantial part of the cost of setting up a GIS system. When the primary reason for the existence of that data has gone, we still need to preserve this important data. Spatial data created within a public institution needs to be archived in the relevant archive, by law. We can also preserve other associated data (metadata) that presents future value for use in historical or temporal analysis. This chapter presents an approach for the preparation of digital spatial data for long term preservation according to Open Archival Information System (OAIS) principles. We define the content of the Archival Information Package (AIP) that contains data and other associated information that ensure the proper understanding of data in the future: particularly its authenticity and sustainability.

### KEY WORDS

Archiving, GIS, GML, data lifecycle, long term preservation, long term preservation format, OAIS

## 1 Uvod

Prostorski podatki imajo pomembno vlogo pri delu v različnih gospodarskih panogah oziroma so osnova v odločevalskih procesih in planiranju v javni upravi. Čeprav danes večina za svoje delo potrebuje najnovejše podatke, ostaja potreba po starejših podatkih, zlasti za časovne ali zgodovinske analize. Primeri takšnih analiz so na primer podnebne analize (Girvetz s sodelavci 2009), analize naravnih nesreč (Aeron s sodelavci 2014) in analize okoljskih vplivov skozi čas (Prabakaran s sodelavci 2014). Poleg tega starejši prostorski podatki, ki so bili podlaga za delo javne uprave v Republiki Sloveniji, predstavljajo pomembno podlago za pravno varnost države, drugih pravnih oseb in državljanov. Pomen pravilne hrambe (in arhiviranja) prostorskih podatkov pride do izraza tako pri manjših primerih, kot je to na primer iskanje poteka starih telekomunikacijskih vodov pri gradnji poslovnega objekta (Büsching 2008), kot tudi pri zapletenih procesih, kot je na primer arbitražni postopek za določitev poteka meje med Republiko Slovenijo in Republiko Hrvaško (Poročilo ... 2013).

Za gradivo v fizični obliki je za obdobje, v katerem je treba gradivo pripraviti in izročiti pristojnemu arhivu, določen čas 30 let od nastanka gradiva, ki ga je mogoče podaljšati še za desetletje. Za gradivo v digitalni obliki je ta čas absolutno predolg in predstavlja preveliko tveganje za izgubo ali neuporabnost podatkov. Tehnologije in orodja za delo z digitalnimi podatki se spreminjajo vsako leto hitreje in z njimi tudi formati zapisov. Zato se je pojavila potreba po drugačnem pristopu arhiviranja obstoječih podatkov in tudi potreba po dopolnitvi življenjskega cikla prostorskega podatka za nove in obstoječe sisteme.

Arhiv Republike Slovenije se je v okviru izvajanja Strategije razvoja slovenskega Javnega elektronskega arhiva e-ARH.si (medmrežje 1) vključil v konzorcij evropskega projekta *E-ARK*, ki poteka od februarja 2014 in se bo zaključil januarja 2017 (medmrežje 2). Namen projekta je na podlagi dobrih praks vzpostaviti storitev e-arhiviranja, ki bo vzporedno potekala v več evropskih državah. Arhiv Republike Slovenije je v projektu še posebno dejaven na področju varstva prostorskih podatkov. V tem okviru pripravljamo opredelitve postopkov in formatov za dolgoročno hrambo ter arhiviranje digitalnih prostorskih podatkov in navodila za izvajanje teh aktivnosti.

## 2 Zahteve za hrambo in arhiviranje

Namen hrambe in arhiviranja vira (dokumenta, meritev, zemljevida ...) je trajna ohranitev vira, ki omogoča, da bodo do celotne vsebine vira lahko dostopali vsi, ki želijo dostop zaradi pravnih, raziskovalnih ali drugih namenov. Zato mora arhivsko gradivo poleg osnovnih podatkov vsebovati tudi vse informacije, ki omogočajo razumevanje in avtentično interpretacijo gradiva.

Po Zakonu o varstvu dokumentarnega in arhivskega gradiva ter arhivih (2006; 2014) moramo pri arhiviranju upoštevati naslednja **temeljna načela**:

- **dostopnost** – gradivo oziroma reprodukcija njegove vsebine mora biti ves čas trajanja hrambe zavarovana pred izgubo ali okrnitvijo celovitosti ter dostopna pooblaščenim uporabnikom;
- **uporabnost** – zagotoviti je treba, da je gradivo oziroma reprodukcija njegove vsebine na voljo v taki obliki, ki omogoča njegovo uporabo za namene, zaradi katerih je zapis nastal, oziroma je predvidena z javnimi ali internimi predpisi;
- **celovitost** – zagotoviti je treba neokrnjenost gradiva oziroma reprodukcije njegove vsebine, kar pomeni, da je treba ohranjati njegovo celotno vsebino, morebitne dopolnitve ali spremembe pa morajo biti jasno dokumentirane;
- **avtentičnost** – ob spremembah formata zapisa je treba zagotoviti dokumentiranost sprememb, da zagotovimo popolno sled od izvirne oblike zapisa do različice, ki je trenutno aktualna;
- **trajnost** – zagotoviti je treba obstoj gradiva oziroma reprodukcije njegove vsebine in spoštovanje zgoraj naštetih načel za obdobje hrambe, ki je določena z rokom (na primer 2, 5, 10 let, T – trajno, A – arhivsko).

Zavezanci za spoštovanje teh načel niso le arhivi, temveč tudi osebe, pri katerih gradivo nastaja (ustvarjalci) ali pa gradivo le hranijo oziroma z njim upravljajo (imetniki). Javno arhivsko gradivo, med katerega spadajo tudi prostorski podatki, nastaja pri poslovanju državnih organov, organov lokalnih skupnosti in pravnih oseb javnega in zasebnega prava ter fizičnih oseb, ki so nosilci javnih pooblastil ali izvajalci javnih služb.

## 2.1 Zakaj zagotavljati ustrezno hrambo (in arhiviranje)?

Od vseh faz vzpostavitve geografskega informacijskega sistema (GIS) je faza pridobitve osnovnih podatkov najdražja. Osnovni podatki so podlaga za rezultate vseh izvedenih analiz in večkrat osnova za poslovne ali upravne odločitve. Čeprav je podatek nastal s točno določenim namenom (na primer: lasersko skeniranje je bilo izvedeno za izdelavo ocene poplavne ogroženosti), je njegova vrednost večja. Naknadna obdelava podatkov pogosto omogoča pripravo povsem drugačnih informacij. Podatke laserskega skeniranja lahko na primer uporabimo za oceno velikosti obdelovalnih zemljišč ali izdelave 3R-modela stavb (Verma, Kumar in Hsu 2006).

Z uporabo podatkov, ki so nastajali daljše časovno obdobje, lahko izvajamo časovne analize, ki nam omogočajo izdelavo ocen trendov gibanja določenih parametrov in s tem omogočajo boljše odločitve v prihodnosti. Primer so izdelave analiz vpliva dejavnikov na okolje in trajnostni razvoj na daljši rok (Navalgund in Jayanthi 2002).

## 3 Uporaba referenčnega modela OAIS za arhiviranje digitalnih prostorskih podatkov

Za doseganje kriterijev za hrambo in arhiviranje podatkov, običajen način hrambe prostorskih podatkov ne zadošča. V večini primerov avtorji ali skrbniki prostorske podatke in podatke o projektu shranijo na »trajni« medij (CD, DVD, trak ...) in jih pospravijo v predal ali omaro. Tu se postopek hranjenja podatkov večinoma zaključi, in ko želimo dostopati do tako shranjenih informacij, smo soočeni z več izzivi:

- podatki niso dostopni, saj je zapis na mediju zaradi lastnosti medija samega in/ali mikroklimatskih pogojev deloma ali popolnoma poškodovan;
- formati zapisa podatkov niso berljivi v sodobnih programskih okoljih in s sodobnimi orodji;
- podatki ne vsebujejo vseh potrebnih informacij za razumevanje, na primer o natančnosti, metodah izdelave ali celo o pomenu atributov;
- najdemo več različic istih podatkov v datotekah in/ali mapah z istim imenom in ne vemo, katera različica je tista, ki jo potrebujemo/iščemo.

Za standardizacijo praks arhiviranja digitalnih podatkov je bila v Arhivu Republike Slovenije uvedena rešitev, ki temelji na referenčnem modelu za odprti arhivski informacijski sistem – OAIS (*Open Archival Informaton System*), na podlagi standarda ISO (ISO 14721:2012) (medmrežje 6). Sistem zagotavlja izpolnitev kriterijev arhiviranja podatkov. Tak referenčni okvir je v svetu digitalne hrambe široko sprejet in opisuje organizacijo postopkov, sistemov, ljudi in podatkov na način, ki omogoča dolgotrajno ohranitev in vzdrževanje informacije.

V prispevku se osredotočamo na življenjski cikel arhivskega informacijskega paketa, prilagojenega za prostorske digitalne podatke.

## 4 Nastanek informacijskega paketa prostorskih podatkov za hrambo – Geo IP

Postopek nastanka informacijskega paketa za hrambo delimo na fazo priprave vsebin in fazo prevzema (*Pre-ingest* in *Ingest*) (slika 1).

## 4.1 Priprava vsebin

Pri prvi fazi je zelo pomembno, da pri pripravi sodelujejo ustvarjalci ali skrbniki podatkov, tisti, ki podatke in njihov pomen ter vrednost dobro poznajo. Ko smo se odločili, kateri podatki so pomembni za hrambo, jih je treba iz trenutnega sistema izvoziti v format za dolgoročno hrambo. Podatki v formatu za dolgoročno hrambo (opcijsko tudi v originalnem formatu) predstavljajo **podatkovni objekt**.

Glede na OAIS razlikujemo med podatki in informacijami: podatek je vsebina, recimo nek vektorski sloj s pripadajočimi atributi, informacija pa so podatki s pripadajočimi vsebinami, ki omogočajo, da lahko podatek ustrezno interpretiramo in ga razumemo v pravem kontekstu. Za enostaven primer vzamemo vektorski sloj v formatu ESRI shapefile. Za prikaz v večini GIS-orodij sta dovolj datoteki s končnicama .shp in .dbf. Toda za pravi prikaz podatka in pravilno razumevanje, potrebujemo še informacije o koordinatnem sistemu in projekciji, pomenu atributov in, če obstaja, informacijo o tipični simbolologiji. To so osnovne **predstavitvene informacije**, ki omogočajo, da bomo podatek v prihodnosti lahko pravilno predstavili. Bolj kompleksen kot je sistem, več informacij potrebujemo.

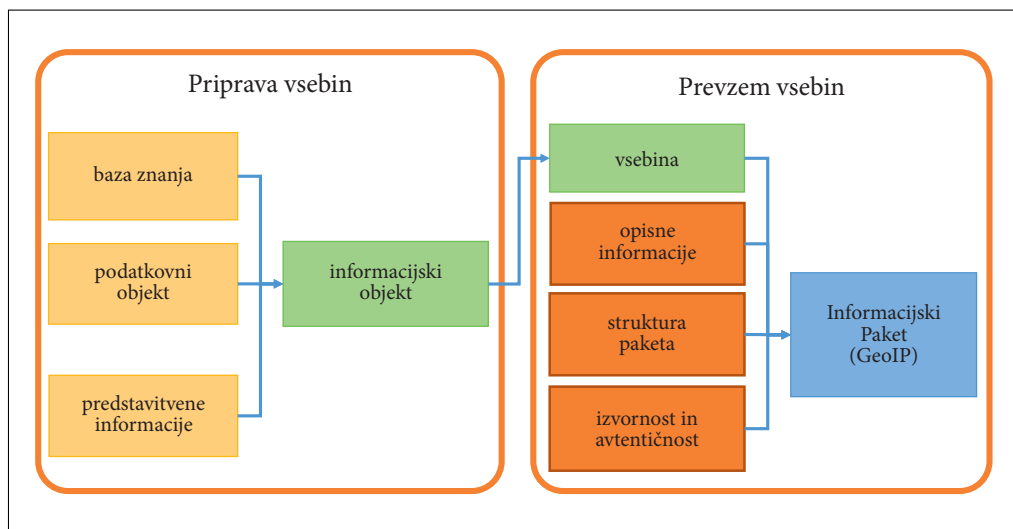
Pri odločanju o arhiviranju izhajamo iz principov OAIS, kar pomeni, da se vedno vprašamo, kako bi podatek želeli uporabljati končni uporabniki in kaj morajo pred uporabo vedeti. Zato je pomembno, da poleg podatkov samih shranimo tudi vso dokumentacijo, ki predstavlja **bazo znanja**, potrebno za pravilno interpretacijo podatkov.

## 4.2 Struktura informacijskega objekta

Na podlagi izkušenj in analize obstoječih praks v svetu smo v okviru projekta *E-ARK* pripravili strukturo informacijskega objekta, primerno za prostorske digitalne podatke iz GIS-ov. Informacijski objekt prostorskih podatkov sestavimo v tri osnovne mape: **metapodatki**, **podatki** in **dokumentacija**. Vsebine označene s krepko pisavo so obvezne za sprejem paketa (slika 2).

### 4.2.1 Metapodatki

Ta mapa je namenjena predvsem strojno berljivim **opisnim informacijam** v formatu XML, ki je skladen s shemo INSPIRE ali standardom ISO 19115. Če jih imamo v drugi obliki, jih v mapo shranimo



Slika 1: Faze priprave arhivskega informacijskega paketa.

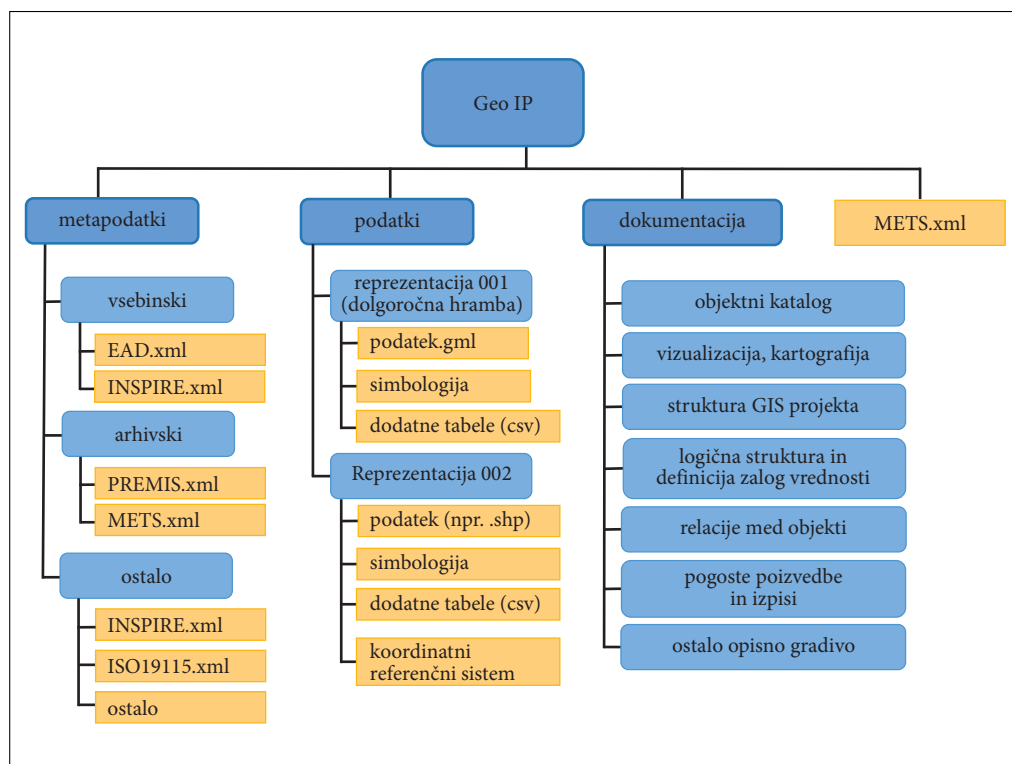
v obstoječi obliki in pripravimo primerno obliko s spletnim orodjem INSPIRE Metadata Editor (medmrežje 3). V kolikor metapodatkov za naše podatke nimamo, jih lahko z omenjenim orodjem ali z drugimi orodji, ki so na voljo v programskih paketih GIS, pripravimo.

#### 4.2.2 Podatki

Ta mapa je namenjena hrambi vseh podatkov, ki jih vsebuje **podatkovni objekt** in pripadajočim **predstavitvenim informacijam**. Obvezno mora vsebovati različico podatkov v formatu za dolgoročno hrambo, ki je format GML 3.2.1 za vektorske podatke in GeoTIFF za rastrske podatke. Če so bili podatki predhodno v splošno razširjeni obliki, kot na primer v formatih .shp, .kml ali .dxf, lahko shranimo reprezentacijsko kopijo tudi v tej obliki, saj nam bo ta oblika omogočila hitrejšo pripravo ogledne kopije, vsaj dokler so ti formati še aktualni.

Podatek o koordinatnem sistemu mora biti sestavni del formata GML ali GeoTIFF. Če bomo hranili podatek tudi v drugih formatih, morajo ti prav tako vsebovati to informacijo (na primer uporaba datoteke .prj za format .shp). Pri rastrih smo ugotovili, da se pogosto dodaja samo datoteka, ki vsebuje lokacijo in koordinate za vpenjanje rastra (na primer datoteka TFW za TIFF-raster), manjka pa informacija o projekciji in geodetskem datumu. Zato se lahko uporabi format .prj ali .aux, ki ga na primer uporabljata orodji ArcGIS ali Qgis.

Če za pravilno interpretacijo podatka potrebujemo še dodatne preglednice ali simbologijo, jih lahko dodamo v oblikah, primernih za arhiviranje. Preglednice naj bodo v formatih CSV ali XML, simbologija pa v zapisu SLD. Če se simbologije v tem formatu ne da zapisati, naj bo dokumentirana v dodatni dokumentaciji.



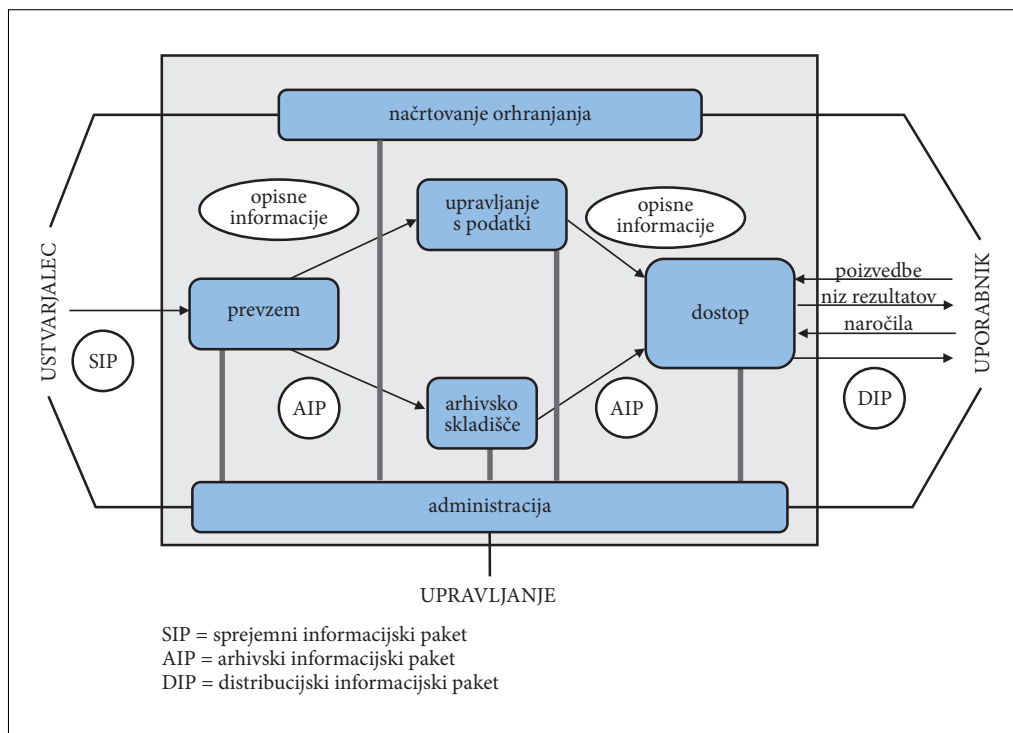
Slika 2: Struktura sprejemnega informacijskega objekta za prostorske podatke.



## 4.2.3 Dokumentacija

Ta mapa je namenjena hrambi baze znanja. Ker obstaja velika verjetnost, da se védenje o namenu, zajemu, uporabi in posebnostih podatkov izgubi, jih je treba primerno dokumentirati. Opredelili smo sedem glavnih kategorij, v katere lahko uvrščamo dokumentacijo, ki je na voljo.

- **Objektni katalog** – podrobno metodologijo objektnega kataloga opisuje standard ISO 19110 geografske informacije – metodologija za objektno kataloge.
- **Vizualizacija, kartografska predstavitev** – v kolikor je za razumevanje prostorskega podatka potrebna simbologija ali je bila v rabi splošno sprejeta, je treba v objekt vključiti dokumentacijo o načinu vizualizacije prostorskega podatka. Dokumentacija zajema vse od navadne slike legende z razlago do redakcijskega načrta karte.
- **Struktura GIS-projekta** – vsebuje seznam elementov projekta v GIS-orodju in način organizacije slojev. Lahko vsebuje tudi povezave na druge vire, ki niso v lasti organizacije. Struktura projekta mora biti dokumentirana v obliki zapisa, ki je skladen z arhivskimi formati. Lahko vsebuje še projektne datoteke iz GIS-orodja, a le kot dopolnilo, saj formati projektov niso trajni in večinoma niso enostavno berljivi brez orodja, v katerem so nastali.
- **Logična struktura in definicija zalog vrednosti** – ta element je obvezen, saj moramo vedeti, kaj pomenijo vrednosti v atributnih preglednicah podatkov in kako se, če se, povezujejo z ostalimi sloji in tabelami.
- **Relacije med objekti** – v kolikor je naš sistem zelo kompleksen je treba dokumentirati tudi relacije med posameznimi objekti, kot so pravila topologije ali ostala pravila, ki so bila nastavljena na ravni aplikacije (na primer dedovanje sprememb med objekti, povezljivost linijskih slojev glede na attribute, povezave v kompleksne topološke strukture ...).



Slika 3: Referenčni model odprtega arhivskega informacijskega sistema – OAIS.

- **Pogoste poizvedbe in izpisi** – čeprav ne moremo arhivirati orodja, v katerem smo podatke uporabljali, lahko zapišemo najbolj pogoste poizvedbe opisno ali, če je možno, v obliki SQL. V veliko pomoč so nam lahko tudi zaslonske slike s komentarji, iz katerih je razvidno, kako so se podatki uporabljali.
- **Ostalo opisno gradivo** – ta mapa vsebuje drugo dokumentacijo, ki omogoča boljše razumevanje podatka, na primer dokumentacija o projektu, pravne podlage, članki, javni razpisi in intervjuji.

### 4.3 Prezem vsebin v arhivsko hrambo

Ko je informacijski objekt pripravljen, ga sprejmemo in z arhivskimi orodji pripravimo v obliko sprejemnega informacijskega paketa – SIP. Preverimo ali vsebina paketa ustreza sprejemnemu zapisniku, ali morda vsebuje viruse, oziroma ali so vse datoteke v arhivsko sprejemljivih formatih. Nato informacijskemu objektu dodamo opisne informacije v obliki arhivskega standarda EAD3 in informacije o strukturi paketa v obliki standarda METS. Celovitost in avtentičnost zagotavljamo z izračunom unikatne kode za vsako datoteko v obliki MD5 ali SHA1 ali z digitalnimi podpisi ter z dokumentacijo procesa in vseh sprememb na podatkih od sprejema v arhiv. To beležimo v formatu XML po standardu PREMIS.

Arhivski informacijski sistem poleg prevzema v arhiv omogoča tudi ostale postopke pri procesu arhiviranja, kot so načrtovanje ohranjanja, upravljanje s podatki med hrambo, izvajanje administrativnih operacij in zagotavljanje dostopa uporabnikom (slika 3).

## 5 Vključevanje arhiviranja v življenjski cikel prostorskega podatka

Današnja uporaba prostorskih podatkov pogosto temelji na združevanju vsebin s spletnih servisov (medmrežje 5), ki niso pod našim nadzorom. Zato je zelo pomembno, da med življenjsko dobo spletnega podatkovnega servisa zagotovimo sledenje spremembam. To je še posebej pomembno, kadar se na podlagi informacij iz spletnih servisov izdajajo upravne odločbe ali sprejemajo pomembne odločitve. Zato je treba na hrambo misliti še pred samo objavo ali distribucijo podatka.

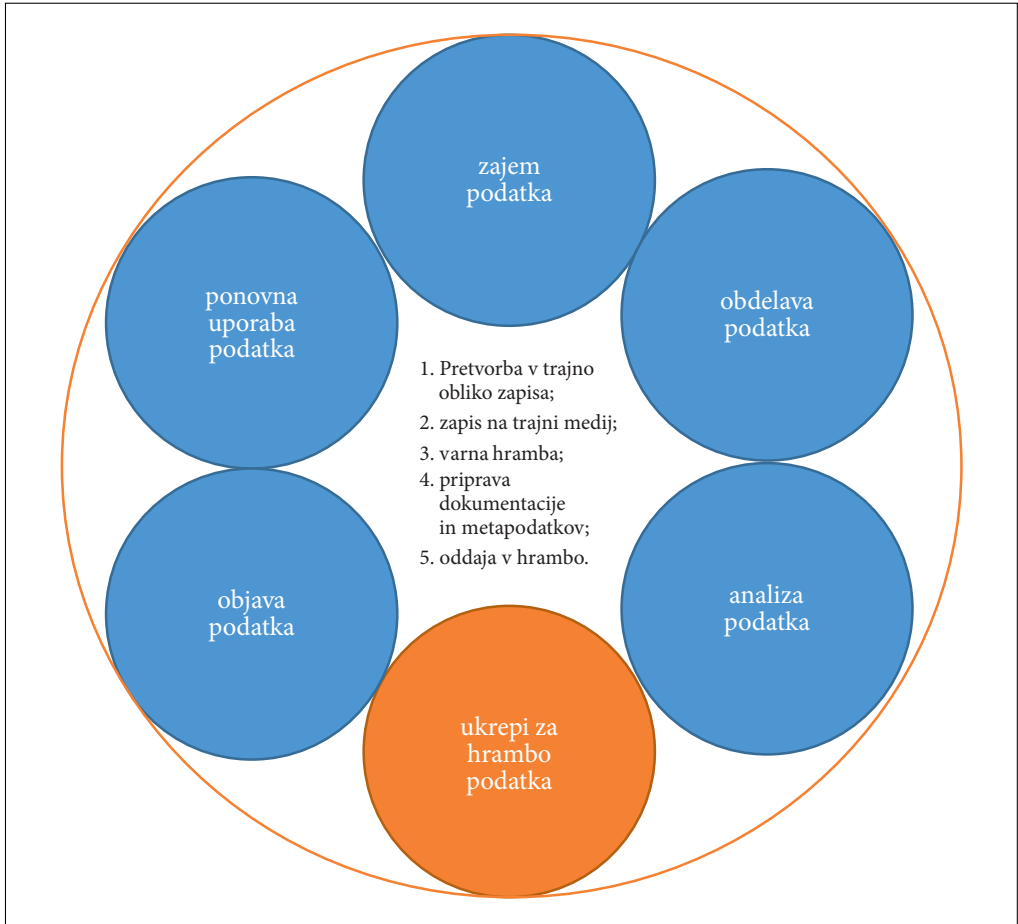
Kot je razvidno iz slike 4, predlagamo, da se izvede ukrepe za hrambo še preden podatek objavimo v javnosti. V kolikor bomo to upoštevali pri delu s prostorskimi podatki, se bomo izgubi podatkov izognili in veliko manj časa porabili za pripravo podatkov za hrambo, kot če te ukrepe izvedemo šele na koncu življenjske dobe podatkov.

## 6 Sklep

Zajem in vzdrževanje prostorskih podatkov za uporabo v GIS-u, predstavlja znaten, če ne največji strošek vzpostavitve in uporabe geoinformacijskega sistema. Ko razlog, zaradi katerega so bili podatki ustvarjeni, ni več aktualen, se moramo odločiti, kakšno vrednost ti podatki imajo. V kolikor so bili podatki podlaga za upravne odločbe ali pomembne odločitve javnih ustanov, je zelo verjetno, da imajo lastnosti arhivskega gradiva in jih je treba izročiti pristojnemu arhivu. Podatki lahko na daljši rok služijo kot podlaga za zgodovinske ali časovne analize, ki med drugim omogočajo sprejemanje boljših odločitev za prihodnost.

Vse podatke, ki jih arhiviramo, moramo pretvoriti v obliko zapisa, ki je ustrezna za dolgoročno hrambo. Poleg same vsebine, je treba ohraniti tudi čim več znanja o podatkih, da jih bo možno kasneje pravilno interpretirati. Za prostorske podatke smo glede na smernice OAIS za lažjo interpretacijo v prihodnosti opredelili osnovne elemente, ki jih bodo uporabniki potrebovali.

Da bomo zagotovili največjo transparentnost postopkov in si prihranili čas v prihodnosti, je treba podatke pred objavo pripraviti za hrambo. S tem hkrati omogočamo sledljivost in transparentnost sprememb, ter zagotavljamo trajnost podatkov.



Slika 4: Umeščanje hrambe v življenjski cikel prostorskega podatka (medmrežje 4).

## 7 Viri in literatura

- Girvetz, E. H., Zganjar, C., Raber, G. T., Maurer, E. P., Kareiva, P., Lawler, J. J. 2009: Applied Climate-Change Analysis: The Climate Wizard Tool. PLoS One 4-12. DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0008320>
- Aeron, A., Garg, R. D., Arya, D. S., Aggarwal, S. P. 2014: Hydro-Meteorological Disasters & Climate Change: Strategies, Prospects and Challenges. Applied Geoinformatics for Society and Environment 2013. Medmrežje: [http://www.hft-stuttgart.de/Studienbereiche/Vermessung/Master-Photogrammetry-Geoinformatics/Alumni/AGSE/AGSE2013\\_proceedings.pdf](http://www.hft-stuttgart.de/Studienbereiche/Vermessung/Master-Photogrammetry-Geoinformatics/Alumni/AGSE/AGSE2013_proceedings.pdf) (19. 4. 2016).
- Büsching, M. 2008: Unterstützung von Netzprozessen in der Telekommunikation. AED SICAD forum 09/08. Medmrežje: [http://www.aed-sicad.de/as\\_files/as\\_publicationen/2008/15\\_aed\\_sicad\\_forum\\_sept\\_2008.pdf](http://www.aed-sicad.de/as_files/as_publicationen/2008/15_aed_sicad_forum_sept_2008.pdf) (19. 4. 2016).
- Medmrežje 1: [http://www.arhiv.gov.si/fileadmin/arhiv.gov.si/pageuploads/zakonodaja/IN\\_str\\_raz\\_e-ARH.si\\_1.1.pdf](http://www.arhiv.gov.si/fileadmin/arhiv.gov.si/pageuploads/zakonodaja/IN_str_raz_e-ARH.si_1.1.pdf) (19. 4. 2016).

- Medmrežje 2: <http://www.earth-project.com/> (19. 4. 2016).
- Medmrežje 3: <http://inspire-geoportal.ec.europa.eu/editor/> (19. 4. 2016).
- Medmrežje 4: <http://www.data-archive.ac.uk/create-manage/life-cycle> (19. 4. 2016).
- Medmrežje 5: [http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=38867](http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=38867) (19. 4. 2016).
- Medmrežje 6: <http://public.ccsds.org/publications/archive/650x0m2.pdf> (19. 4. 2016).
- Navalgund, R. R., Jayanthi, S. C. 2002: Role of earth observations for sustainable development: Emerging trends. ICORSE earth observation systems for sustainable development. Medmrežje: <http://repository.ias.ac.in/89347/1/24P.pdf> (19. 4. 2016).
- Poročilo o delu arhiva RS za leto 2012. Ljubljana, 2013. Medmrežje: [http://www.arhiv.gov.si/fileadmin/arhiv.gov.si/pageuploads/porocila/Porocilo\\_ARS\\_2012\\_verzija\\_1.6.pdf](http://www.arhiv.gov.si/fileadmin/arhiv.gov.si/pageuploads/porocila/Porocilo_ARS_2012_verzija_1.6.pdf) (19. 4. 2016).
- Prabakaran, C., Prakash Singh, C., Solanki, H. A., Parihar, J. S. 2014: Detecting spatio-temporal variation of Indian mangrove foliar phenology using time-series data. Applied geoinformatics for society and environment 2013. Medmrežje: [http://www.hft-stuttgart.de/Studienbereiche/Vermessung/Master-Photogrammetry-Geoinformatics/Alumni/AGSE/AGSE2013\\_proceedings.pdf](http://www.hft-stuttgart.de/Studienbereiche/Vermessung/Master-Photogrammetry-Geoinformatics/Alumni/AGSE/AGSE2013_proceedings.pdf) (19. 4. 2016).
- Verma, V., Kumar, R., Hsu, S. 2006: 3D Building detection and modeling from Aerial LIDAR data. 2006 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition (CVPR'06) 2. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/CVPR.2006.12>
- Zakonu o varstvu dokumentarnega in arhivskega gradiva ter arhivih. Uradni list Republike Slovenije 30/2006. Ljubljana.
- Zakonu o varstvu dokumentarnega in arhivskega gradiva ter arhivih. Uradni list Republike Slovenije 51/2014. Ljubljana.



# UPORABA IZOBRAŽEVALNE IGRE EARTHCACHE V OSNOVNI ŠOLI

**Mojca Janžekovič**

Osnovna šola Toma Brejca, Kamnik

mojca.janzekovic@guest.arnes.si

UDK: 91:004.5:794

## IZVLEČEK

### **Uporaba igre EarthCache v osnovni šoli**

EarthCache je izobraževalna igra, ki temelji na široko uporabni GPS tehnologiji, eksponentni rasti avanturistične igre Geocaching (geolov) ter potrebi po popularizaciji geografije in znanosti o Zemlji. Učenec s pomočjo koordinat, ki jih dobi na spletu, ter GPS-sprejemnika poišče EarthCache točke v naravi, ki ponujajo informacije o geografskih pojavih in procesih na Zemlji. Igro EarthCache je možno uporabiti pri terenskem delu kot osnovno metodo učenja geografije, učencem pomaga razumeti nastanek in zgradbo Zemlje, procese, ki se odvijajo na njenem površju, ter razložiti vzroke za nastanek geografskih pojavov na Zemlji. S primerjavo različnih EarthCache točk po celem svetu učenci lahko razvijajo in preverjajo predpostavke o procesih, opazujejo procese v naravi in pridobljeno znanje povezujejo v nove zaključke o Zemlji.

## KLJUČNE BESEDE

geocaching, EarthCache, GPS sprejemnik, pametna mobilna naprava, vzgoja in izobraževanje, osnovna šola

## ABSTRACT

### **The application of EarthCache in primary school**

EarthCache is an educational activity based on the broad use of GPS receivers, on the exponential growth of the Geocaching adventure game, and on the need of popularizing geography and Earth science. Students use coordinates obtained online and over GPS receivers in order to find EarthCache points, which include information about geographical phenomena and processes on Earth. The game can be used in fieldwork as a basic method of learning about geography. It can help students understand the formation and structure of the Earth, and the processes that take place on its surface. It can also explain the reasons for the formation of geographical phenomena on Earth. Comparing various EarthCache points across the globe, students can develop and test hypotheses, observe natural processes, and use the gathered knowledge to make new conclusions about the Earth.

## KEY WORDS

geocaching, EarthCache, GPS receiver, smart mobile device, education, primary school

## 1 Uvod

Geocaching oziroma geolov, kot so igro prevedli v slovenski jezik (medmrežje 1), je zabavna igra raziskovanja, ki omogoča uporabniku sprejemnika GPS iskati zaklade oziroma skrite objekte, ki jih je nekdo skrival neke na Zemlji. Na tisoče ljudi je zaklade skrilo na različnih delih sveta. Lokacije zakladov so zabeležene na svetovnem spletu ([www.geocaching.com](http://www.geocaching.com)). Za iskanje zaklada se mora uporabnik najprej brezplačno registrirati, poiškati seznam zakladov, prenesti zemljepisno dolžino in širino v svoj sprejemnik GPS in ga nato uporabiti pri iskanju zaklada. Zaklad je po navadi škatla, v kateri so spravljene različni majhni predmeti, na primer droben nakit, sporočila ali druga presenečenja. Iskalec zakladov oziroma geolovec se lahko vpiše v vpisno knjigo, ki je v škatli ali pridobi nove koordinate za končni zaklad. Geolov od igralca zahteva osnovno znanje branja zemljevidov in orientacije ter rokovanje z napravo GPS. Iskanje zaklada preko spletnega portala ali njihove aplikacije za pametne telefone oziroma tablice je že pred leti osvojila svet. Danes ima spletna igra, ki igralca prisili, da odide v naravo, že preko 2 milijona igralcev (medmrežje 2).

EarthCache je izobraževalna aktivnost, ki je izšla iz vse bolj pogoste uporabe GPS-sprejemnikov in popularizacije igre geolov ter temelji na geografiji in geologiji. Ker je EarthCache izobraževalna igra, morajo EarthCache točke vsebovati strokovne informacije o pokrajini ali pojavu. Mnogi ugotavljajo, da Zemlja sama ponuja svoje zaklade, ki jih je treba odkriti, in nudi neskončne možnosti za raziskovanje, odkrivanje in učenje. Posameznik lahko obišče EarthCache točke na terenu ali na spletu, točke pa so v večini zanimivi geološki ali geografski pojavi ali procesi. Taka mesta ponujajo informacije o široki paleti reliefnih oblik, rastlinstvu, kamninah, podnebnju, tipih prsti, porazdelitvi prebivalstva, vplivu človeka na površje ... Objavo posamezne točke odobri Ameriško geološko združenje – Geological Society of America (GSA). EarthCache točke so »virtualni« zaklad, ki obiskovalca seznanja z novim znanjem oziroma informacijah o sami lokaciji – izobraževalni zaklad. Namesto da obiskovalec z najdenega mesta kaj odnese ali tam pusti, raje sledi navodilom, na samem mestu zapiše svoja opažanja, na EarthCache spletni strani ([www.earthcache.org](http://www.earthcache.org)) zabeleži svoj obisk in zapiše novo pridobljeno znanje (Lewis in McLelland 2007).

Igra EarthCache je nov koncept v izobraževanju, saj združuje številne elemente, za katere je dokazano, da spodbujajo učence in promovirajo učenje. Izkušnje s terena, praktične interaktivne naloge, tehnologija in vznemirjenje ob novem odkritju – vse to prispeva k smiselnemu, zabavnemu učenju (Lewis in McLelland 2007, 10). EarthCache je priložnost za učence, da izkusijo, kako sta znanost in tehnologija povezani, in hkrati pridobijo znanje glede uporabe tehnologije v znanosti.

V osnovni šoli učni cilji za geografijo (6.–9. razred) vsebujejo cilje, ki jih lahko usvojimo s pomočjo igre EarthCache. Igra ima številne interdisciplinarne uporabnosti in je odličen način, kako učence zainteresirati za geografijo, geologijo, biologijo, zgodovino, državljanstvo vzgojo, umetnost, matematiko in jezike (Lewis in McLelland 2007, 29). Z igro EarthCache v kombinaciji s terenskim delom učenci usvojijo mnogo učnih ciljev predmeta geografija na osnovni šoli (Kolnik 2011, 8–10 in 20–24). Učenci tako lahko:

- uporabljajo različne načine zbiranja in prikazovanja geografskih informacij;
- se usposablja za uporabo različnih vrst zemljevidov in drugih virov geografskih informacij;
- berejo različne tematske in splošne zemljevide v tiskani in digitalni obliki;
- narišejo oziroma izdelajo različne vrste preprostih zemljevidov z uporabo dogovorjenih topografskih znakov;
- se orientirajo v naravi in pri tem uporabijo več ustreznih pripomočkov (zemljevid, kompas in večšine orientiranja z drugimi naravnimi znaki);
- določijo geografsko lego kraja ali pokrajine in uporabijo merilo zemljevida;
- razvijajo sposobnost uporabe preprostih metod geografskega raziskovanja, kot so opazovanje, merjenje, preprosta analiza, intervju, kartiranje;
- znajo uporabiti statistične in druge vire ter literaturo na terenu;

- z zemljevidi načrtujejo pohod, izlet in šolsko ekskurzijo;
- se pri izvajanju terenskega dela in pri ekskurzijah zdravo in koristno gibljejo v naravi;
- pridobivajo prostorske predstave o domačem kraju, pokrajini in državi;
- spoznavajo vrednote in edinstvenost slovenskih pokrajin;
- spoznavajo in razvijajo ljubezen in spoštovanje do slovenske naravne in kulturne dediščine in pripadnost slovenski državi;
- smiselno uporabljajo sodobno tehnologijo;
- najdejo, zberejo in obdelajo ustrezne elektronske informacije, podatke in pojme (organiziranje letih, razlikovanje pomembnih od nepomembnih, objektivnih od neobjektivnih, resničnih od navideznih) in jih sistematično uporabijo;
- varno in odgovorno uporabljajo svetovni splet.

Pri pouku geografije učitelji »veliko pozornost namenjamo zlasti pouku na prostem, v pristnem okolju, saj s tem omogočamo doživljajsko učinkovitejši pouk.« (Kolnik 2011, 5). Šolske ekskurzije in terensko delo pa so pomembni za razvijanje vseživljenjskega znanja. S terenskim delom učenci lahko usvojijo vse taksonomske stopnje, prirejene po Bloomovi taksonomiji učenja (Anderson in Krathwohl 2001):

1. Zapomniti: opazovanje okolice, prepoznavanje geografskih elementov, priklic informacije in glavnih idej.
2. Razumeti: navajanje vzrokov za posamezne geografske pojave in procese, primerjava in predvidevanje posledic.
3. Uporabiti: uporaba pridobljenih konceptov in teorij pri razlagi novih pojavov in procesov, reševanje problemov z uporabo pridobljenih spretnosti, znanja.
4. Analizirati: prepoznavanje vzorcev, identificiranje delov, prepoznavanje sovplivanja naravnih in družbenih elementov ter njuno prepletanje.
5. Evalvirati: preverjanje hipotez, kritično vrednotenje, raziskovanje in odkrivanje novih posledic, testiranje, nadzorovanje/razlikovanje med idejami, vrednotenje dokazov in prepoznavanje subjektivitete, razvijanje obrazloženih argumentov.
6. Ustvariti: povezovanje znanja z več področji, generaliziranje s pomočjo podatkov, sklepanje novih zaključkov.

## 2 Učna priprava in primer izvedbe izobraževalne igre EarthCache

V učnem načrtu je ekskurzija s terenskim delom postala obvezni del pouka geografije. Učenci pri terenskem delu sami z različnimi metodami ugotavljajo zakonitosti v naravi in družbi. Takšne aktivne metode razvijajo sposobnost geografskega razmišljanja (Malajner 1996). Igra EarthCache omogoča uporabo preprostih geografskih raziskovalnih metod (Brinovec 2004):

- metoda neposrednega opazovanja – opazujemo različne naravnogeografske in družbenogeografske pojave in procese ter njihovo medsebojno prepletanje;
- metoda risanja, merjenja in zbiranja vzorcev – rišemo in izmerimo določen geografski pojav ali objekt v naravi, povečamo zbirko vzorcev za šolsko zbirko;
- metoda intervjuja, anketiranja in zbiranja podatkov – predvsem pri analiziranju družbenogeografskih razmer uredimo svojo bazo statističnih podatkov;
- metoda kartiranja – ob obisku EarthCache točke kartiramo okolico, v primeru večkratnega obiska primerjamo karte in ugotavljamo spremembe.

Učna priprava mora vsebovati načrt ure z učnimi cilji, potek dela v učilnici pred odhodom na teren, natančen načrt dela na terenu ter načrt varnosti. Pred izvedbo ure mora učitelj opredeliti namen dejavnosti na prostem, izbrati primerno okolje za proučevanje geografskih procesov in pojavov, izbrati varen kraj in primeren čas izvedbe. Določiti mora oblike dela – ali bodo učenci na terenu delali v skupini, paru ali individualno, zagotoviti mora spremljevalce in pripraviti pripomočke.



## Primer učne priprave terenskega dela z izobraževalno igro EarthCache

### **Osnovni podatki:**

- trajanje: 4 ure;
- ciljna skupina: 9. razred osnovne šole;
- učna tema: dinarsko-kraške pokrajine;
- učna enota: kraško površje;
- učne oblike: frontalna, individualna, skupinska;
- učne metode: razgovor, razlaga, opazovanje, demonstracija, interpretacija, primerjava;
- taksonomske stopnje: zapomniti, razumeti, uporabiti, analizirati.

### **Splošni cilji terenskega dela**

Učenci:

- pridobivajo prostorsko predstavo o pokrajini;
- se orientirajo in gibljejo v naravi s kompasom in zemljevidom;
- razvijajo osnovno geografsko proučevanje in raziskovanje Slovenije;
- spoznavajo geografske značilnosti Slovenije;
- razumejo pomembnejše geografske pojave in procese v domači pokrajini;
- razvijajo zbiranje in uporabo virov informacij s terenskimi metodami in tehnikami dela;
- razvijajo vrednote, ki prispevajo k razumevanju pomena odnosov in vrednot pri odločanju v posegih v prostor;
- razvijajo uporabo komunikacijskih, miselnih, praktičnih in socialnih veščin za raziskovanje geografskih tem.

### **Operativni cilji terenskega dela**

Učenci:

- se orientirajo na zemljevidu in se gibljejo v pokrajini;
- razvijajo sposobnost za osnovno proučevanje in raziskovanje pokrajine;
- razvijajo sposobnost uporabe preprostih metod geografskega raziskovanja, kot so opazovanje, merjenje, preprosta analiza, kartiranje in uporaba drugih virov na terenu;
- se usposablja za uporabo različnih vrst zemljevidov;
- spoznavajo naravno in kulturno dediščino Slovenije ter pomen gibanja v naravi;
- se pri izvajanju terenskega dela zdravo in koristno gibljejo v naravi;
- opišejo značilnosti reliefa in vodovja dinarsko-kraških pokrajin Slovenije.

**Učni pripomočki in učila:** primerna obutev in obleka, natančna navodila, merilni instrumenti – GPS, termometer, kompas, zemljevid, pisalo, blok, fotoaparati ...

### **Potek dela v razredu – priprava učencev na izobraževalno igro EarthCache**

Učitelj učence seznanja s cilji in vsebino terenskega dela pri Podpeškem jezeru na Ljubljanskem barju. V računalniški učilnici si skupaj ogledajo spletno stran [www.geocaching.com](http://www.geocaching.com), se registrirajo in poiščejo EarthCache točko Jezero v vasi Jezero (45° 58,161' severne zemljepisne širine, 14° 25,950' vzhodne zemljepisne dolžine). Preberejo si zapis geološkega zaklada in se pogovorijo o dejavnostih, ki jih morajo opraviti za uspešno končano nalogo (medmrežje 2):

»1. Razmislite o naslednjih podatkih:

- a) jezerska voda ima odtok 51 metrov pod gladino jezera;
- b) voda, ki odteče iz Jezera, izvira na drugi strani kamnitega praga, na robu barja;
- c) izviri na barjanski strani so le kak meter pod nivojem gladine Jezera, torej kakih 50 metrov višje od odtoka na jezerskem dnu. Kako lahko razložite neoviran iztok vode iz Jezera?

2. Z rjave table, ki Jezero označuje kot naravni spomenik, prepišite prvo vrstico besedila.
3. Zelo bomo veseli, če kakšno zanimivo fotografijo z mesta zaklada priložite svojemu vpisu obiska.»

S programom Google Zemlja (*GoogleEarth*) si učenci ogledajo lokacijo, ki jo bodo obiskali. Tisti, ki imajo pametne telefone in neomejen prenos podatkov, si na telefon namestijo aplikacijo Geocaching. Ostali učenci se naučijo rokovati z napravo GPS. Na podlagi števila GPS-sprejemnikov in števila otrok v razredu se oblikuje skupine. Člani skupine si razdelijo naloge.

### **Potek dela na terenu – izvajanje igre EarthCache**

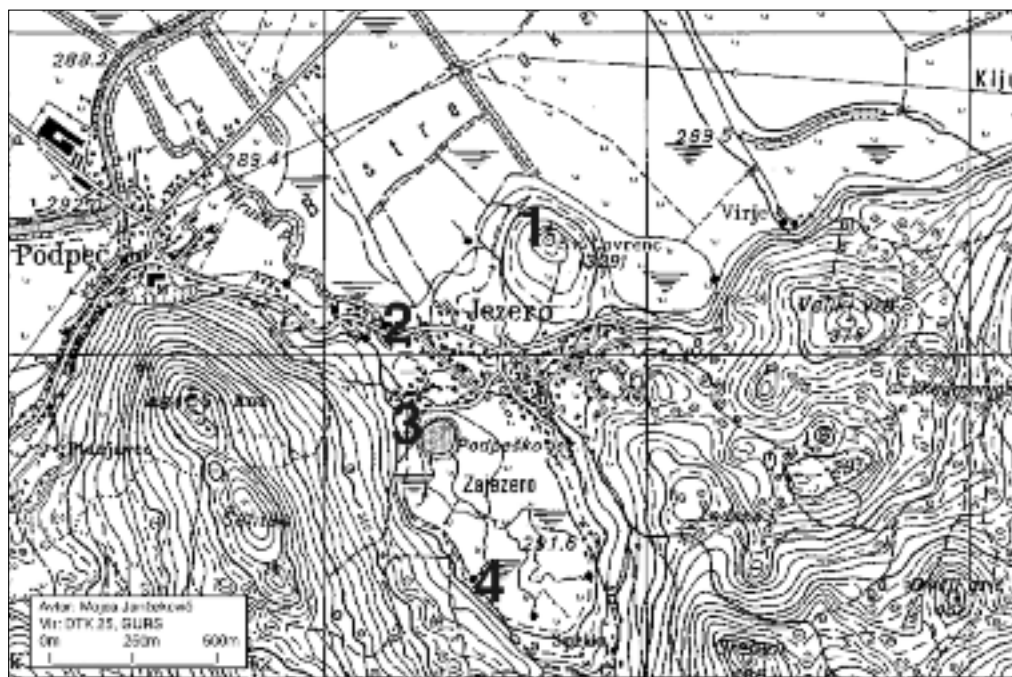
Območje, ki naj bi ga obiskali, smo razdelili na štiri opazovalne točke (slika 1), da se skupine med seboj ne bi motile. Vsak učenec dobi terenski list z nalogami, ki jih mora opraviti na terenu. Odgovori učitelju služijo za evalvacijo doseženih ciljev. Učenci se v skupinah, v spremstvu učitelja podajo na predhodno določeno opazovalnico ter nato menjajo opazovalnice. Na vsaki opazovalnici opravijo del nalog, ki jih po obisku vseh opazovalnic pripelje do novega znanja. Na koncu poiščejo odgovore na vprašanja, postavljena na spletu in jih pošljejo »lastniku« EarthCache točke.

### **Primer nalog, ki jih mora učenec opraviti na terenu**

Opazovalnica 1: Sveti Lovrenc (slika 2)

Na Sveti Lovrenc prideš iz vasi Jezero. Cesti skozi vas sledi do gasilskega doma. Od tu nadaljuj po asfaltni cesti proti kraju Tomišelj le nekaj 10 m, nato pa pri drogu električne napeljave zavij levo na kolovozno cesto, ki po levi strani obide bližnjo stanovanjsko hišo. Kolovoz nato preide na razgledno travnato pobočje, preko katere se v nekaj minutah sprehodiš do cerkve Svetega. Lovrenca. Razglej se po okolici, izmeri in zapiši naslednje podatke:

1. Zapiši nadmorsko višino opazovalnice 1.
2. Izmeri temperaturo zraka.



Slika 1: Zemljevid opazovalnih točk (1–4).

3. Orientiraj se in opiši pokrajino, ki jo vidiš.

na severu se nahaja:

na jugu se nahaja:

na vzhodu se nahaja:

na zahodu se nahaja:

4. Skiciraj pokrajino, ki jo vidiš proti jugu.

Opazovalnica 2: Ljubljansko barje (slika 3)

Opazovalnica 2 označuje območje, kjer voda iz jezera pride na površje. Do njih prideš, če v vasi Jezero slediš cesti proti Podpeči. Prvi izvir imenovan Pod Hruško boš našel že pri osnovni šoli, nasproti šolskega igrišča.

1. Zapiši nadmorsko višino opazovalnice 2.

2. Izmeri temperaturo vode.

3. Izmeri temperaturo zraka.

4. Kako se imenuje potok in v katero reko se izliva?

5. Ljubljansko barje danes ni več pravo barje, ampak preplet vlažnih travnikov, steljnikov, logov, mejic, njiv. Razmisli, kako so prebivalci uspeli preoblikovati nekdanje močvirje v pokrajino, ki jo vidiš danes.

Opazovalnica 3: Jezero Jezero (slika 4)

Opazovalnica 3 označuje jezero. Ob njem najdeš informativno tablo z osnovnimi podatki.



MOJCA JANŽEKOVIC

Slika 2: Sveti Lovrenc nad Jezerom.

1. Zapiši nadmorsko višino opazovalnice 3.
2. Izmeri temperaturo zraka.
3. Izmeri temperaturo jezera.
4. Kako se imenuje gostilna pri Jezeru?
5. Preko aplikacije Geocaching poišči naš zaklad – EarthCache Jezero.
6. Nariši tloris jezera in okolice.

*Opazovalnica 4: Pritoki Jezera (slika 5)*

*Do opazovalnice 4 prideš, če pri Jezeru slediš gozdni poti proti jugu. Lahko pa slediš tudi pritoku v jezero vse do izvira.*

1. Zapiši nadmorsko višino opazovalnice 4.
2. Izmeri temperaturo enega od kraških izvirov.
3. Izmeri temperaturo zraka.
4. Sedem kraških izvirov se steka v skupno strugo potoka, ki napaja Jezero. Kako se imenuje?
5. Opiši nastanek kraškega izvira.

*Analiza terenskega dela*

1. Na podlagi zbranih podatkov z vseh opazovalnic zapiši odgovore na spodnja vprašanja. Odgovore utemelji.
  - a. Je bila izmerjena temperatura zraka na vseh štirih opazovalnicah enaka?
  - b. Se je izmerjena temperatura med izvirov, jezerom in odtokom razlikovala?
  - c. Kakšna je relativna razlika med najvišje in najnižje izmerjeno točko?
  - č. Za koliko metrov je odtok nižje od gladine jezera?
2. Odgovori na EarthCache vprašanje:
  - a. Kako lahko razložite neoviran iztok vode iz Jezera?
  - b. Z rjave table, ki Jezero označuje kot naravni spomenik, prepišite prvo vrstico besedila.



Slika 3: Površinski odtok vode iz jezera.



MOJCA JANZEKOVIČ

*Slika 4: Jezero Jezero v vasi Jezero.*



MOJCA JANZEKOVIČ

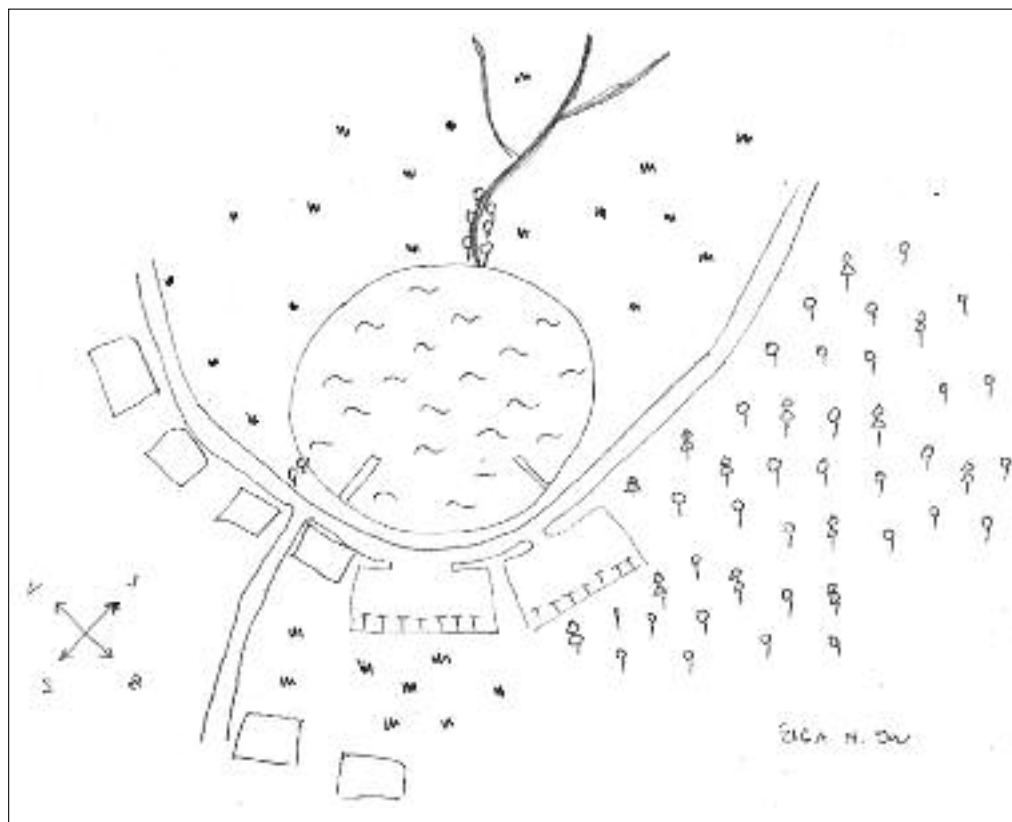
*Slika 5: Kraški izvir, ki napaja Jezero.*

### 3 Analiza

Pri izvedbi terenskega dela s pomočjo igre EarthCache je sodelovalo 22 učencev. Doseženi so bili vsi zastavljeni cilji. Učenci so se orientirali in gibali v naravi s kompasom, GPS-sprejemnikom in zemljevidom in s tem pridobili prostorsko predstavo o pokrajini ter spoznali geografske značilnosti Ljubljanskega barja in kraškega površja.

Na opazovalnici 1 – Sv. Lovrenc – so nadmorsko višino prepisali iz zemljevida (Državna topografska karta, 1 : 25.000, list 134 – Rakitna). Višino so primerjali s podatkom iz navigacijske naprave. V večini primerov (77 %) so se podatki razlikovali za nekaj metrov. Pri nekaterih je bilo odstopanje večje. Ugotovili smo, da je treba nadmorsko višino s pomočjo navigacijske naprave odčitati takrat, ko smo pri miru. Orientacija učencem ni delala težav. Pri disleksikih smo več pozornosti namenili določanju smeri neba. Vse skice pokrajine, ki so jih učenci videli na južni strani Sv. Lovrenca, so imele označene smeri neba. Učenci z dobro razvitim smislom za orientacijo in prostorsko predstavljenost (23 %) so pri skicah uporabili topografske znake (cerkev, cesta, hiše, potoki) in legendo, večina učencev pa je skice narisala zelo enostavno, pomagali so si z besedami, legende ni bilo.

Na opazovalnici 2 – Ljubljansko barje – so učenci morali nadmorsko višino prebrati iz plastnic na zemljevidu in rezultat preveriti s pomočjo navigacijske naprave. Večina učencev (91 %) se ni zanesla na svoje poznavanje branja zemljevidov, zato so višino prepisali iz GPS-sprejemnikov. Ime potoka, o katerem smo spraševali, je zapisalo 45 % udeležencev. Za pravo ime so morali povprašati krajevno



Slika 6: Učenci v okviru terenskega dela narišejo tloris Podpeškega jezera in okolice.

prebivalstvo, s čimer so urili uporabo komunikacijskih, praktičnih in socialnih veščin za raziskovanje geografskih tem. 20 učencev je pravilno zapisalo ime reke Ljubljanice, kot reko, v katero se izliva Hruški potok. Na vprašanje, ki se je nanašalo na opazovanje pokrajine, so vsi učenci pravilno presodili, da so domačini preoblikovali Barje iz močvirnatega sveta v obdelovalne površine z osuševanjem s pomočjo odvodnih jarkov in kanalov. Pri evalvaciji smo pri tej nalogi poiskali še razloge za poseg v prostor.

Na opazovalnici 3 – pri jezeru – so učenci nadmorsko višino prebrali iz zemljevida. Vsi učenci so pravilno zapisali ime gostilne pri jezeru. Prav tako so vse skupine našle GeoCache točko pri informativni tabli, iz katere so prepisali prvo vrstico stavka za zadnjo nalogo. Tloris jezera so narisali pravilno (slika 6), le trije učenci so izpustili oznako smeri proti severu. Kot vzrok za to pomanjkljivost so navedli svojo površnost.

Na opazovalnici 4 – pritoki jezera – je le 32 % učencev pravilno zapisalo ime potoka, v katerega se združijo vsi kraški izviri. Ime potoka ni zapisano na zemljevidu, v okolici izvirov pa v času meritev ni bilo nobenega domačina, ki bi jim lahko pomagal pri vprašanju. Pozneje, v vasi, pa se niso spomnili, da bi ponovno rešili nalogo. Vprašanje o nastanku kraškega izvira je večini delal preglavice. Le 41 % učencev je vprašanje rešilo pravilno. Pri sedmih učencih je bil odgovor nepopoln, ostali pa so na vprašanje odgovorili napačno ali so ga pustili neodgovorjenega. Težave so se pojavile predvsem zato, ker so morali učenci uporabiti znanje, ki so ga usvojili že v učilnici. Priklic znanja in povezovanje z realnim okoljem pa učencem dela težave.

Zadnji del učnega lista je bila analiza terenskega dela. Na podlagi zbranih podatkov z vseh opazovalnic so morali zapisati svoja opažanja o temperaturi zraka in vode, zapisati trditve in odgovore utemeljiti.

Izmerjena temperatura zraka se je na opazovalnicah razlikovala zaradi razlike v času merjenja. Učenci so na svoji prvi opazovalnici izmerili nekoliko nižjo temperaturo v primerjavi z izmerjeno temperaturo na zadnji opazovalnici. 77 % učencev je svojo trditev znalo utemeljiti. Ostali učenci so ali slabo merili temperaturo (niso merili na primerni višini in stran od ljudi, objektov oziroma niso pustili termometra dovolj časa na zraku) ali niso znali razložiti, zakaj je prišlo do razlik. Odgovora »*smo merili bolj zjutraj*« nismo upoštevali, saj niso bili navedeni razlogi, zakaj je zjutraj hladneje kot popoldan.

Izmerjena temperatura vode med kraškim izvirom, jezerom in odtokom iz jezera se je prav tako razlikovala. Razlog je bil v jasnem dnevu in plitvosti pritokov in odtokov, kjer se voda hitreje segreje v primerjavi z jezerom, ki je globlje in vsebuje večjo količino vode. 82 % učencev je na vprašanje odgovorilo pravilno. Ostali so ta del vprašanja pustili prazen.

Na vprašanja o relativni višini in izračunu razlike med gladino jezera in odtokom so vsi odgovorili pravilno.

Na zadnje vprašanje o neoviranem iztoku vode iz jezera, ki je zahtevalo nekaj znanja iz fizike, je odgovorilo pravilno le 5 učencev. Težave so bile predvsem pri vzorčno-posledičnem sklepanju in učiteljeva razlaga je bila nujno potrebna. Spet se je pokazalo, da znanje, pridobljeno v učilnici, učenci težko povežejo z vzroki nastanka nekega pojava ali procesa v naravi.

Kljub vsemu so bile uresničene vse taksonomske stopnje, zapisane v pripravi. Učenci so dan preživeli v naravi in se s pomočjo zemljevidov, kompasov in GPS-sprejemnikov orientirali. Pri tem so se usposobili za uporabo različnih vrst zemljevida (skica, tiskan zemljevid, digitalni zemljevid, splošni in satelitski zemljevid). S pomočjo navodil, zapisanih na terenskem listu, so razvijali sposobnost uporabe preprostih metod geografskega raziskovanja, kot so opazovanje, merjenje, preprosta analiza, kartiranje in uporaba drugih virov na terenu.

Spoznali so Podpeško jezero in Ljubljansko barje – naravni dediščini, ki predstavljata hidrološko, površinsko geomorfološko in ekosistemsko vrednoto (Enciklopedija ... 2016). Ob obisku vseh štirih terenskih opazovalnic so opisali in analizirali značilnosti kraškega reliefa in vodovja.

V okviru naslednje geografske ure v učilnici smo opravili ustno analizo rezultatov terenskega dela. Lastniku EarthCache točke smo poslali naše odgovore in sliko s terena. Ugotovili smo, da je učence igra pritegnila, da so sami že preverili ostale EarthCache točke v bližnji okolici in izrazili željo, da se na te-

ren odpravimo še kdaj. Bistvo takšnega učenja je učence spodbuditi, da geografske pojave in procese spoznajo z več različnih vidikov, da se v temo poglobijo, jo nadgrajujejo in iščejo nove ideje. S tem dosežemo, da je učenec aktiven na več ravneh in pridobiva vseživljenjsko znanje. Zaradi dinamike in sproščenega poteka terenskega dela je tak način učenja pri učencih zelo priljubljen.

## 4 Sklep

Izobraževalna igra EarthCache učence usposablja za rabo različnih sredstev in medijev, s katerimi razlagajo, uporabljajo, vrednotijo in posredujejo geografske informacije (Kolnik 2011, 4). Učenci so zelo spretni pri uporabljanju pametnih naprav in različnih aplikacij. Ugotavljamo pa, da imajo zelo pomanjkljivo znanje pri pretvarjanju usvojenega znanja v uporabno znanje. Vzrokovi in posledici, ki jih v teoriji poznajo, v praksi ne znajo povezati s pojavi in procesi v pokrajini. Prav tako imajo težave z medpredmetnim povezovanjem (geografijo s fiziko, biologijo, kemijo ...). Zato je terensko delo pomemben način pridobivanja znanja, sposobnosti, samostojnosti, izkušenj in kritičnosti. Omogoča razvijanje drugačne komunikacije kot pri običajnem pouku v razredu (Oblak 2008). Učenci so preko igre EarthCache na terenu bolj aktivni in samoiniciativni, njihova storilnost je povečana. Kakovost pridobljenega znanja je trajnejša, večje uspehe dosežejo manj sposobni učenci.

Slabe strani terenskega dela so, da je tovrstno delo običajno finančno omejeno in zahteva veliko časa in dobro organizacijo pred samo izvedbo. V kolikor pa v terensko delo vključimo še GPS tehnologijo in pametne telefone, pa naletimo še na nekatere ovire. Nakup GPS-sprejemnikov je za večino slovenskih šol še vedno prevelik strošek, zato je število sprejemnikov v uporabi omejeno. Učenci morajo tako delati v skupinah in lahko se zgodi, da zaradi različnih razlogov nekateri učenci ne pridejo na vrsto za rokovanje z GPS-sprejemnikom. To pomanjkljivost lahko nadoknadimo z uporabo pametnih telefonov ali drugih mobilnih naprav, ki imajo vgrajen GPS-sprejemnik. Pri tem moramo paziti, da so mobilne naprave pred izvedbo terena napolnjene, saj uporaba navigacije porabi veliko energije in prazni baterijo.

V večini osnovnih šol je uporaba pametnih telefonov med vzgojni-izobraževalnim procesom prepovedana. Da ne bi kršili šolskega pravilnika, moramo vodstvo šole in starše prositi za dovoljenje za uporabo mobilnega telefona v času terenskega dela. Pri tem pa nehote izpostavimo socialne razlike med učenci, saj imajo nekateri najmodernejše telefone, drugi pa pametnih telefonov nimajo. Občutljiva tema, pri kateri moramo ravnati zelo previdno.

Geocaching aplikacija brezplačno omogoča le iskanje osnovnih točk. Če želimo, da nam aplikacija pokaže tudi točke, ki zahtevajo bolj napredno iskanje (med njimi je tudi EarthCache), moramo aplikacijo nadgraditi. Nadgradnja je plačljiva. Temu se lahko izognemo le, če igro EarthCache vključimo preko spleta. Pri tem pa se soočimo s plačljivostjo prenosa podatkov.

Ena izmed nadgradenj učenja preko igre EarthCache je, da učenci sami izdelajo EarthCache točko, kjer se bodo še dodatno urili v prepoznavanju in analiziranju geografskih pojavov in procesov. Največja slabost take nadgradnje je, da je proces izdelave EarthCache točke vezan na potrditev Ameriškega geološkega združenja (GSA), kar je povezano s poznavanjem geografske terminologije v angleškem jeziku, proces od ustvarjene EarthCache točke do njene uradne potrditve pa je dolg. Večina učencev ima dostop do GPS-sprejemnika preko pametnih telefonov in nameščene aplikacije namenjene geologu. Brezplačna različica aplikacije ima omejene možnosti za igro, za nadgradnjo pa je treba plačati. Predlog učencev je bil, da se povežemo z ustreznim programerjem, ki bi izdelal slovensko različico EarthCache aplikacije, ter da bi bila za potrjevanje EarthCache točk zadolžena ena izmed slovenskih geografskih izobraževalnih institucij.

Motivacija za delo z igro EarthCache je velika, zato učitelji z veliko vnemo pripravljamo nadaljnja gradiva. Učenci si želijo, da bi bil pouk dinamičen, zato smo učitelji prisiljeni posegati tudi k drugačnim, inovativnim metodam poučevanja.



## 5 Viri in literatura

- Anderson, L. W., Krathwohl, D. 2001: A taxonomy for learning, teaching and assessing: a revision of Bloom's taxonomy of educational objectives. New York.
- Brinovec, S. 2004: Kako poučevati geografijo, didaktika pouka. Ljubljana
- Enciklopedija naravne in kulturne dediščine na Slovenskem, 2016: Medmrežje: <http://www.dedi.si/> (21. 1. 2016).
- Kolnik, K. (ur). 2011: Učni načrt, Program osnovna šola, Geografija. Ministrstvo za šolstvo in šport, Zavod Republike Slovenije za šolstvo. Ljubljana. Medmrežje: [http://www.mss.gov.si/fileadmin/mss.gov.si/pageuploads/podrocje/os/devetletka/predmeti\\_obvezni/Geografija\\_obvezni.pdf](http://www.mss.gov.si/fileadmin/mss.gov.si/pageuploads/podrocje/os/devetletka/predmeti_obvezni/Geografija_obvezni.pdf) (18. 5. 2011).
- Lewis, G. B., McLelland, V. 2007: EarthCaching™ – An educator's guide editors. Boulder.
- Malajner, V. 1996: Novosti pri pouku geografije – učne ure v geografskem laboratoriju (geografski opazovalnici). Geografija v šoli 5-1.
- Medmrežje 1: <http://www.geocacher.si> (26. 3. 2016).
- Medmrežje 2: <http://www.geocaching.com> (21. 1. 2016).
- Oblak, T. 2008: Priprava geografsko-slovenistične ekskurzije v zadnjem triletju osnovne šole. Diplomsko delo, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.

## PROJEKT ATHENA – MOŽNOSTI DRUŽBENIH OMREŽIJ V ČASU IZREDNIH RAZMER

**Luka Novak, Julij Jeraj**

*Oddelek za zaščito, reševanje in civilno obrambo, Mestna uprava, Mestna občina Ljubljana*

*luka.novak@ljubljana.si, julij.jeraj@ljubljana.si*

UDK: 614.8:316.472.4:004.738.5

### IZVLEČEK

#### **Projekt Athena – možnosti družbenih omrežij v času izrednih razmer**

Vse več ljudi komunicira in išče informacije preko spleta z uporabo družbenih medijev. V času izrednih razmer (naravne in druge nesreče, teroristični napadi) javnost pričakuje pretok informacij intervencijskih služb tudi preko spleta družbenih medijev. Raziskovalni projekt Athena (7. okvirni program) je osredotočen na preučevanje zbiranja in obdelave prejetih sporočil javnosti ter ponuja možnost dvosmerne komunikacije javnosti s pristojnimi organi. V Ljubljani je konec januarja 2016 potekalo testiranje aplikacij, ki nastajajo v okviru projekta Athena. Glavni namen vaje je bil preizkus trenutne različice mobilne aplikacije za javnost in aplikacije za nadzorne sobe intervencijskih služb in rešitev ter pridobivanje uporabniških izkušenj in možnosti izboljšav. Skupno je v testiranju, ki je bilo izvedeno kot simulacija oziroma vaja, sodelovalo preko 100 ljudi, ki so odigrali 60 različnih vnaprej napisanih vlog na 8 lokacijah v 3 državah. Dejstvo je, da javnost pričakuje, da pristojni organi komunicirajo preko družbenih omrežij. Reševalne službe se bodo morale v prihodnje temu prilagoditi in izkoristiti možnosti, ki jih ponujajo nove tehnologije.

### KLJUČNE BESEDE

*projekt Athena, družbena omrežja, naravne nesreče, druge nesreče, nesreče, mobilne aplikacije*

### ABSTRACT

#### **Athena project – usage of social networks during crisis**

More and more people communicate and seek information online or over social media. In times of emergency (natural and other disasters, terrorist attacks) public expects the flow of information via the internet. Project Athena (FP7) is intended for collecting and processing of incoming messages; it offers the possibility of two-way communication between public and authorities. In January 2016 there was a testing of Athena project in Ljubljana. The main goal of the exercise was to test the current software and solutions, as well as gaining experience and opportunities for improvement. In total over 100 people played 60 different pre-written roles in 3 countries. The fact is public expects the authorities to communicate through social networks. Rescue services will have to adapt and exploit the opportunities offered by new technologies.

### KEY WORDS

*project Athena, social networks, natural disasters, other disasters, accidents, mobile apps*

## 1 Uvod

Ljudje v času naravnih in drugih nesreč vse pogosteje uporabljajo pametne telefone, družbena omrežja in mobilne aplikacije za sporočanje, komentiranje ali iskanje informacij (Gibson s sodelavci 2014). Eric Stern je na praktičnem primeru nedavnih terorističnih napadov v Parizu prikazal izjemno vlogo družbenih omrežjih. Takrat se je vzpostavil močan pretok informacij – iskanje oziroma poizvedovanje po svojcih, ki so bili v času napada v Parizu (medmrežje 1). Po potresu v Christchurchu (Nova Zelandija) so ljudje izven mesta ponujali streho nad glavo meščanom, ki so imeli porušene hiše ali so bežali iz mesta. Zelo dober primer uporabe socialnih omrežij v izrednih razmerah je bil potres v Nepal, ko je le nekaj ur po potresu prišlo do pravega izbruha sporočil na socialnih omrežjih s strani prizadetih prebivalcev (medmrežje 2).

Večino velikih dogodkov ali nesreč dandanes spremlja poročanje in spremljanje v živo preko družbenih omrežij. Objave in komentarje nudijo uradne pristojne institucije, medijske hiše in posamezniki. Vsi ti deležniki nastopajo kot pričre, neposredno vpleteni oziroma žrtve ali poročevalci. Posameznik se v kopici objav in komentarjev težko ali pa delno znajde, posebno, če je sam vpet v dogajanje okoli njega. Za usklajeno in čim bolj učinkovito načrtovanje ter izvajanje posredovanja, reševanja in odprave posledic nesreče reševalne službe potrebujejo poročila o trenutnem stanju na terenu. Prav tako ni pomembna količina podatkov oziroma objav, temveč analiza in smotrna uporaba pridobljenih podatkov (Gibson s sodelavci 2014). Z uporabo socialnih omrežij in mobilnih aplikacij lahko pristojne institucije opolnomočijo javnost, da ravna samozaščitno in vzajemno nudi pomoč udeleženi v nesreči. Tako lahko javnost prevzame precejšen del bremena s pristojnih služb, ki se lahko posvetijo reševanju poškodovanih ljudi.

Večina pristopov od zgoraj-navzdol gleda na prebivalce v nesreči kot na žrtve in ne kot na samostojne posameznike, ki bi jih lahko s pridom uporabili pri odpravljanju posledic (Helsloot in Ruitenber 2004; Schanlon s sodelavci 2014). Raziskovalni program Athena temelji na pristopu, ki javnost vidi kot del rešitve oziroma možnosti podpore reševalnim ekipam. Javnost je tako v večini primerov še vedno neuporabljen vir pomoči v času krize, sploh v luči dejstva, da so prebivalci prvi na mestu nesreče in presegajo število reševalcev. V kriznih razmerah so prebivalci pogostokrat praviloma iznajdljivi in pomagajo sebi in drugim, tudi pristojnim organom (medmrežje 3; medmrežje 4). Znani so primeri samoorganiziranja prostovoljnih skupin, ki se hitro prilagajajo na spreminjajoče se razmere na terenu. Pogostokrat iz takih skupin pridejo na površje vodje in strokovnjaki, ki izvajajo številne naloge z namenom reševanja življenj in lastnine. Vse pogosteje se ljudje zanašajo na spletne strani, mobilne aplikacije in družabna omrežja (medmrežje 3). Program Athena tako nudi možnost opolnomočenja javnosti. Javnost dandanes pričakuje, da reševalne službe in pristojni organi uporabljajo družbena omrežja v času izrednih razmer (Abbasi s sodelavci 2012).

Trenutno je v uporabi kar nekaj programov in družbenih omrežij, ki nudijo določeno podporo reševalnim službam in javnosti, kot so na primer Twitter, Ushahidi, MicroMappers, AIDR, EmergencyAUs, a vsi ti programi so urejeni na linearnih zvezah in potrebujejo človeka, ki pregleduje in odgovarja na sporočila, kar je zamudno in zahtevno (Gibson s sodelavci 2014).

Projekt Athena je tri letni raziskovalni varnostni projekt, ki je financiran s strani Evropske komisije znotraj 7. okvirnega programa EU in se je začel leta 2013 (medmrežje 3). V projektu sodelujeta Mestna občina Ljubljana (Oddelek za zaščito, reševanje in civilno obrambo) in Gasilska brigada Ljubljana. Vodilni partner je Policija West Yorkshire (Združeno kraljestvo), sodelujejo še Mednarodna organizacija za migracije (Belgija), Univerza Sheffield Hallam (Združeno kraljestvo), Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung der Angewandten Forschung (Nemčija), SAS Software Limited (Združeno kraljestvo), Thales (Nizozemska), Univerza Virginia (ZDA), Swedish National Defence College (Švedska), Mesto Izmir (Turčija), Epam System (Švedska), Research in Motion Limited (Kanada) in Epidemico (Irska) (medmrežje 5).

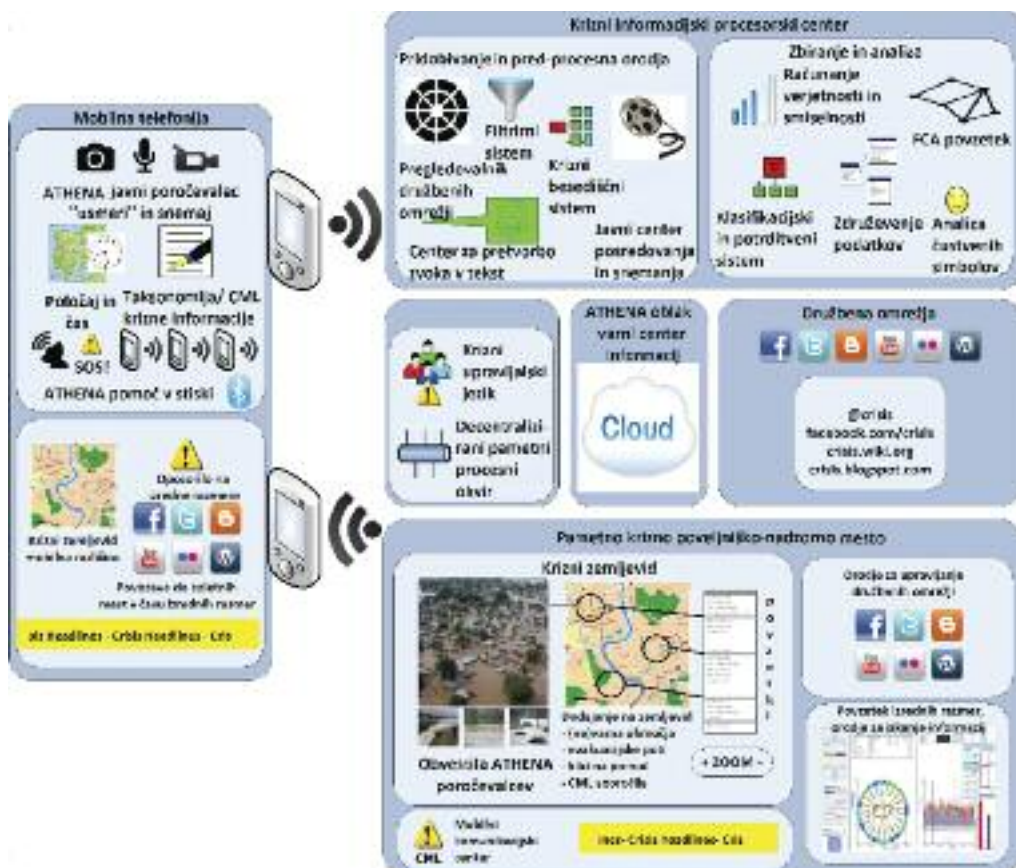
Osnovni namen raziskovalnega projekta Athena je raziskati vpliv in uporabo družbenih omrežij, tako za komunikacijo med prebivalci in reševalnimi službami v času pred, med in po naravni ali drugi

nesreči, kot za pridobivanje in posredovanje ključnih informacij v času nesreče. Strokovnjaki z različnih področij v tem okviru iščejo načine uporabe družbenih medijev za pridobivanje informacij o vsebinski, prostorski in časovni razsežnosti nekega izrednega dogodka, odnosu ljudi do njega in do sprejetih ukrepov na eni strani, na drugi pa za posredovanje informacij in priporočil oziroma navodil ljudem (Gibson s sodelavci 2014; Domdouzis s sodelavci 2014, medmrežje 3).

Sistem Athena pregleduje družbena omrežja v času izrednih razmer, prepoznava in zbira informacije, ki so pomembne za pristojne organe. Te informacije uredi in obdela v smiselna in verjetna poročila, ki jih razvrsti po pomembnosti, ter jih pošlje nadzorniku na tako imenovano nadzorno namizje v potrditev in nadaljnjo obravnavo (sliki 1 in 2) (Gibson s sodelavci 2014).

Sistem Athena vsebuje 4 pomembne dele, in sicer (Domdouzis s sodelavci 2014):

- mobilno aplikacijo (ki je razslojena na več ravni, od katere je osnovna namenjena javnosti, ostale pa posebej usposobljenim posameznikom, na primer pripadnikom prostovoljnih služb, ki sodelujejo pri zaščiti in reševanju in vsebuje orodja za sporočanje in sprejemanje informacij),



Slika 1: Shema sistema Athena. Levi zgornji kvadrat predstavlja poročevalca s terena, ki pošlje sporočilo v CIPC (program za analizo vhodnih podatkov (desni kvadrat zgoraj)). CIPC pošlje analizirane podatke v CCCID (nadzorna plošča v kriznem štabu), kjer jih pristojni preverijo in potrdijo na zemljevidu (desni kvadrat spodaj). CCCID nato pošlje povratno informacijo javnosti in poročevalcem na terenu (levi kvadrat spodaj) (Gibson s sodelavci 2014).

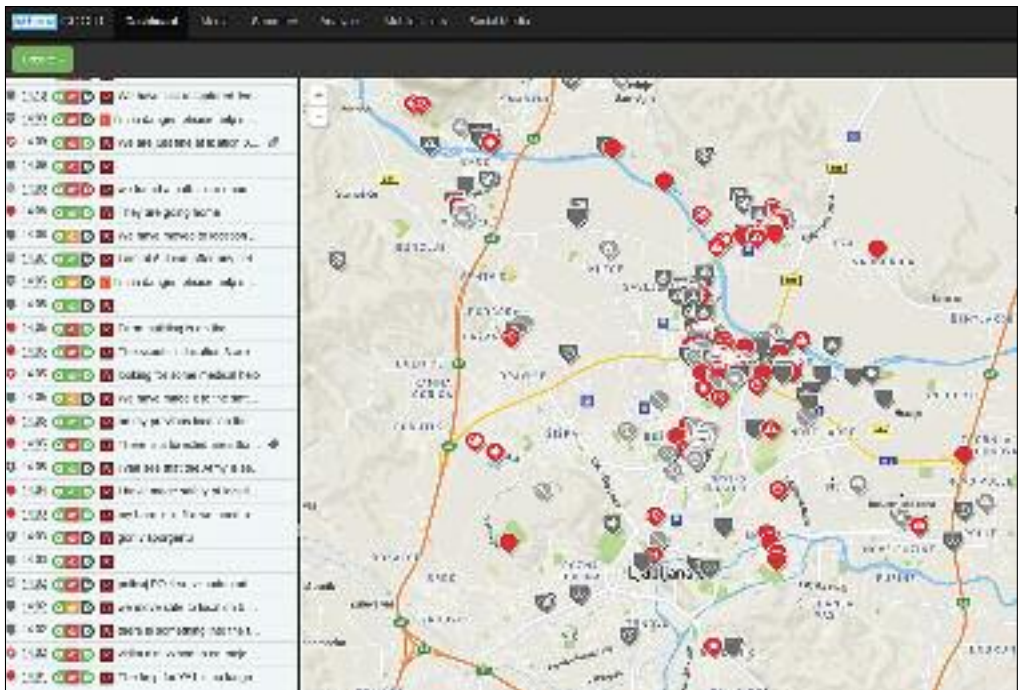
- krizni informacijski procesorski center (*Crisis Information Processing Centre*; CIPC, zbirka programov za iskanje, zbiranje in obdelavo vhodnih informacij, ki jih pošlje javnost preko mobilne aplikacije, ali pa preko iskanja ključnih besed na družbenih omrežjih),
- krizno poveljniško-nadzorno mesto (*Crisis Command and Control Intelligence Dashboard*; CCCID, ki ga uporabljajo pristojni organi za delo v sistemu Athena; na tem mestu so zbrana sporočila na zemljevidu, pripravljena za potrditev in objavo, ter orodja za objavo le-teh),
- oblak Athena (mesto, kjer so zbrani vsi podatki in sporočila).



Slika 2: Proces sprejema, obdelave in objave informacije (Gibson s sodelavci 2014).

CCCID je z vidika uporabnika v kriznem centru oziroma nadzorni sobi intervencijske službe ali štaba civilne zaščite najpomembnejši pripomoček. Gre za uporabniški vmesnik, kjer so sporočila prikazana na zemljevidu in so pripravljena na pregled, potrditev in uporabo (sliki 1 in 2). Vsako sporočilo mora potrditi pristojna oseba pred objavo v širši javnosti. Uporabniški vmesnik vsebuje tudi pripomočke za komunikacijo z javnostjo preko kratkih SMS sporočil, objav na družbenih omrežjih ali mobilnih aplikacij ter analitične funkcije, ki jih uporabnik lahko izvaja nad pridobljenimi podatki (Gibson s sodelavci 2014).

Uporaba in izris zemljevidov v izrednih razmerah postaja v zadnjem času samostojna veda (Ziemke 2012). Zemljevid v času izrednih razmer je tako, kot bi imeli helikopter in bi si v realnem času ogledovali



Slika 3: Zemljevid s sporočili v CCCID-ju.

razvoj in potek nesreče (Meier 2012). Zemljevid je tako ključni element CCCID-ja oziroma sistema Athena (slika 3). Zemljevid nesreče vsebuje geolokacijske informacije, kot so sporočila mobilnih aplikacij, združena sporočila družbenih omrežij in lokacije pomembnejših objektov. Sporočila so razvrščena po zavahkih glede na pomembnost, stopnjo zaupnosti in drugih lastnostih. Za sistem Athena so razvili simbole za hitro prepoznavo in sledenje posameznim sporočilom (Gibson s sodelavci 2014).

Mobilna aplikacija Athena (slika 4) izkoristi pripravljenost javnosti pomagati v času izrednih razmer. Javnosti in prvim posredovalcem omogoča, da sporočijo informacije neposredno v operativni center Athene. Hkrati omogoča tudi pošiljanje besedilnih sporočil, fotografij ali avdio oziroma video datotek. Sporočila, poslana z mobilne aplikacije, lahko obravnavamo kot bolj zanesljiva v primerjavi s sporočili, ki so nastala na podlagi filtriranja družbenih omrežij. Aplikacija tudi loči tip poročevalca, in sicer navadnega laika oziroma zanesljivega poročevalca, kot so na primer gasilci, skavti, taborniki in gorski reševalci.

## 2 Metode dela

Projekt Athena je osnovan na predpostavki pozitivnega vpliva mobilnih aplikacij in družbenih omrežij na opolnomočenje javnosti, kot tudi na odpravo posledic naravnih in drugih nesreč. Pozornost je usmerjena predvsem na bodoče končne uporabnike, to so laična javnost in pristojne službe, zato je programsko opremo smiselno čim večkrat praktično preizkusiti, da se odkrijejo težave, najdejo rešitve in se ugotovi ali je sistem dejansko uporaben. Prvi praktični preizkus je potekal junija 2015 v turškem Izmirju. Sledile so poglobljene analize in razvoj programa. 27. januarja 2016 je v Ljubljani potekalo drugo testiranje mobilne aplikacije za uporabnike, kot tudi programske opreme in aplikacije za nadzornike v štabih civilne zaščite. Drugo testiranje je bilo v primerjavi s prvim neprimerno kompleksnejše in zahtevnejše. Na vaji so sodelovali partnerji v okviru projekta Athena in večje število prostovoljcev. Testiranje je potekalo v Ljubljani, sočasno pa sta delovali še dve manjši skupini na Švedskem in v Združenem kraljestvu. Skupno je sodelovalo preko 100 ljudi, ki so odigrali 60 različnih vnaprej napisanih vlog, na 8 različnih lokacijah v 3 državah. Vloge so bile zelo kompleksno napisane in med njimi je potekala



Slika 4: Trije pogledi v mobilno aplikacijo Athena: vstopna stran, načini poročanja in zemljevid.

komunikacija. Projekt je bil z logističnega, organizacijskega in komunikacijskega vidika precej zahteven (slika 5).

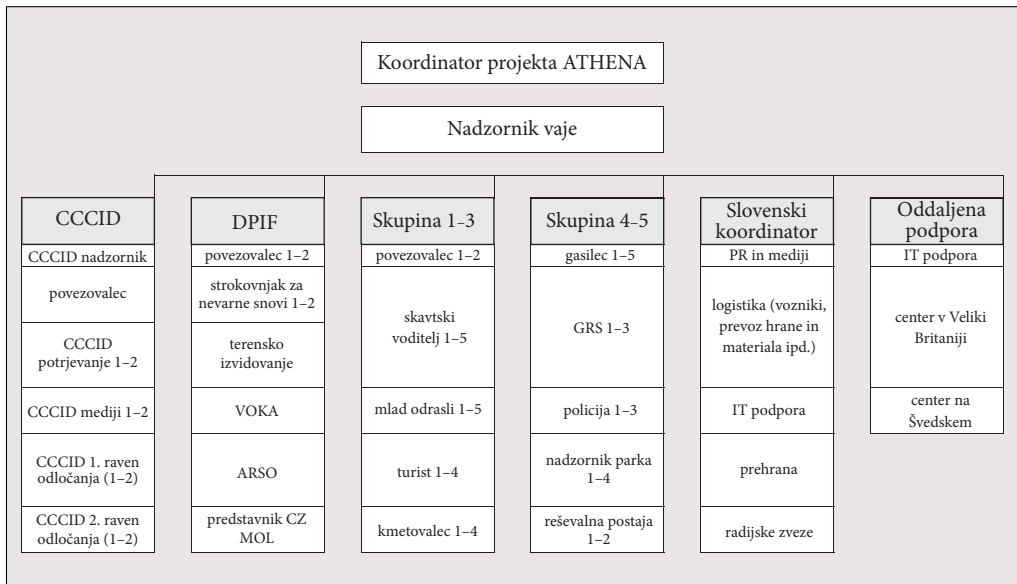
Scenarij testiranja je predvideval večje razlitje neznane želatinaste snovi v Medvodah, ki se je širila po Savi proti Ljubljani oziroma Litiji in je ogrožala podtalnico. V sklopu vaje so prostovoljci na terenu odigrali različne vloge, od naključno mimoidočih, do strokovno usposobljenih reševalcev. Testirali smo zajem podatkov z družbenih omrežij (test CIPC-a), sposobnost programa analize podatkov, zajem geoloških podatkov, obveščanja prvih posredovalcev, možnost pošiljanja povratne informacije javnosti, možnost pošiljanja različnih tipov datotek (test aplikacije), preverili jasnost navodil aplikacije in sprti beležili ugotovitve.

Testiranje je potekalo preko celotnega dneva. Bistvenega pomena je bil preizkus programske opreme, kot tudi izmenjava izkušenj poklicnih gasilcev Gasilske brigade Ljubljana z ostalimi partnerji projekta. Prva analiza je potekala znotraj skupine po metodi vodenega razgovora. Vsaka skupina je imela svojega strokovnega spremljevalca, ki je spremljal in beležil uporabnikove izkušnje, smiselnost postopkov, jasnost navodil, mnenje uporabnikov, kaj jim je všeč in kaj ne. Ob koncu testiranja je sledila še kratka analiza vseh skupin, kjer so izpostavili 3 najbolj izstopajoče stvari, ki so jih opazili med testiranjem. Naslednji dan je sledila poglobljena 8 urna analiza vseh sodelujočih partnerjev in organizacij znotraj konzorcija.

### 3 Rezultati in razprava

Kot smo že omenili pri metodi dela, je bil to prvi večji preizkus računalniškega sistema in mobilne aplikacije Athena. Več kot 100 uporabnikov je odigralo 60 različnih vlog, ki so se med seboj dopolnjevale in vplivale druga na drugo. Vaja je potekala na 8 različnih lokacijah v 3 državah (Slovenija, Združeno kraljestvo in Švedska).

Cilj vaje je bil praktični preizkus sistema in zbrati uporabniške izkušnje, tako pozitivne, kot tudi negativne. Večina uporabnikov se je strinjala, da je mobilna aplikacija dobro zastavljena in bi jo v realni



Slika 5: Razvejanost ekip, vlog in skupin na testiranju programa Athena.

situaciji tudi uporabili. Starejši uporabniki so bili počasnejši pri registraciji, vnosu podatkov in pošiljanju sporočil, a so zastavljene naloge opravili. Uporabniki na terenu so poročali, da bi bilo dobro, če bi bila lokacija oziroma lokacije pristojnih organov (na primer štab Civilne zaščite, gasilski domovi, zbirni centri ekip Civilne zaščite) označene na zemljevidu. Za normalno delovanje potrebuje mobilna aplikacija vklopljen GPS in prenos podatkov. S tem se bistveno obremeni baterijo in posledično skrajša čas uporabe mobilne naprave. V času izrednih razmer pa lahko pričakujemo moteno oskrbo z električno energijo. Z večanjem števila poročil je zemljevid v mobilni aplikaciji postajal nepregleden, sploh če je prišlo z ožjega območja več poročil hkrati. Z večanjem števila uporabnikov je aplikacija počasi delovala ali pa se je v celoti zaustavila. Poročilo o dogodku je bilo tako potrebno večkrat poslati, da je bilo dostavljeno.

V nadzornem centru CCCID so poročali o zahtevnosti potrjevanja in spremljanja večjega števila sporočil. Za potrditev sporočila je potrebno precejšnje število klikov, kar podaljša čas potrjevanja in posledično se zniža raven učinkovitosti. V CCCID-ju niso opazili počasnega delovanja mobilne aplikacije, temveč so se ukvarjali predvsem z obravnavo sporočil in obveščanjem uporabnikov oziroma javnosti in medijev. Potrdili so, da je aplikacija Athena za nadzorne centre zelo dober pripomoček pri strateškem odločanju in načrtovanju.

Z večanjem števila uporabnikov in sporočil se upočasni mobilna aplikacija ali celo preneha delovati, kar je v kriznih razmerah za uporabnika na terenu lahko dodatna stresna obremenitev. Računalniški strokovnjaki so ugotovili, da je za obdelavo prejetih poročil potrebno imeti dovolj zmogljive računalnike, ki lahko hitro in učinkovito obdelajo podatke, ki jih nato lahko uporabijo pristojni organi kot orodje odločanja in vodenja intervencije.

Poleg razprave o tehnično-programskih problemih, smo ugotovili, da so pomembna tudi pravna, moralno-etična vprašanja. Kdo skrbi in varuje zbrane podatke (ne samo podatke o nesrečah, temveč tudi osebne podatke)? Kdo prevzame odgovornost v primeru določenih odločitev (na primer odreditev evakuacije, preverjanje izvajanja)? Ali se morajo reševalne ekipe odzvati na sporočilo enako kot na klic na 112? Kako določiti območje nevarnosti? Strinjali smo se, da projekt Athena ni mišljen kot zamenjava obstoječim sistemom sporočanja in nudenja podpore poveljevanja in vodenja intervencije, temveč je zgolj pripomoček intervencijskim službam za zbiranje informacij o nesreči, prikazovanje podatkov na enem mestu, obveščanje javnosti in podobno.

## 4 Sklep

Na podlagi dosedanjih izkušenj v zadnjih letih (teroristični napadi v Mumbaju, Bostonu, Parizu in Bruslju, poplave v New Queenslandu v Avstraliji, potres v Nepal), kjer je opazen porast uporabe družbenih omrežij za obveščanje in iskanje informacij, je projekt Athena trenutno eden izmed bolj praktično naravnanih programov. Omogoča dvosmerno komunikacijo med pristojnimi organi in javnostjo, zbiranje, predvsem pa obdelavo podatkov, spremljanje razvoja dogodkov in služi kot pripomoček za lažje odločanje o ukrepih.

Nesreče se dogajajo. Javnost uporablja sredstva in komunikacijske kanale, ki jih je vajena in so ji na voljo. Razmah družbenih omrežij, mobilnih aplikacij in dostop do spleta daje možnosti za hitrejši in učinkovitejši ukrepanje reševalnih enot za reševanje življenj in lastnine. Po drugi strani javnost pričakuje delovanje reševalnih enot ne samo na terenu, temveč tudi na družbenih omrežjih, ki so dandanes postali za nekatere edini vir informacij. Pristojne službe se bodo morale prilagoditi na spremenjene razmere in izkoristiti možnosti, ki jih ponujajo sodobne tehnologije. Projekt Athena je tako prvi korak v smeri opolnomočenja javnosti v času izrednih razmer.



## 5 Viri in literatura

- Abbasi, M., Kumar, S., Augusto, J., Filho, A., Liu, H. 2012: Lessons learned in using social media for disaster relief – ASU crisis response game. *Social computing, behavioral – cultural modeling and prediction*.
- Domdouzis, K., Andrews, S., Gibson, H., Akhgar, B., Hirsh, L. 2014: Service-oriented design of a command and control intelligence dashboard for crisis management. *Utility and cloud computing*. London. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/UCC.2014.114>
- Gibson, H., Andrews, S., Domdouzis, K., Hirsh, L., Akhgar, B. 2014: Combining big social media data and FCA for crisis response. *Utility and cloud computing*. London. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/UCC.2014.112>
- Helsloot, I., Ruitenbergh, A. 2004: Citizen response to disasters: A survey of literature and some practical implications. *Journal of contingencies and crisis management* 12-3. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.0966-0879.2004.00440.x>
- Medmrežje 1: <http://www.ljubljana.si/si/mol/novice/102019/detail.html> (11. 2. 2016).
- Medmrežje 2: <http://qz.com/406562/how-social-media-is-helping-nepal-rebuild-after-two-big-earthquakes-2/> (14. 2. 2016).
- Medmrežje 3: <http://www.projectathena.eu/> (10. 2. 2016).
- Medmrežje 4: <http://www.abc.net.au/news/2015-08-16/nepal-earthquake-how-open-data-social-media-helped-rebuild/6700410> (14. 2. 2016).
- Medmrežje 5: <http://www.projectathena.eu/project/partners/> (10. 2. 2016).
- Meier, P. 2012: Crisis mapping in action: How open source software and global volunteer networks are changing the World, one map at a time. *Journal of map & geography libraries* 8-2. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/15420353.2012.663739>
- Scanlon, J., Helsloot, I., Groenendaal, J. 2014: Putting it all together: Integrating ordinary people into emergency response. *International journal of mass emergencies and disasters* 32-1.
- Ziemke, J. 2012: Crisis mapping: The construction of a new interdisciplinary field? *Journal of map & geography libraries* 8-2. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/15420353.2012.662471>



ISSN 1855-4954



9 789612 549299

39,00 €