

# GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SISTEMI V SLOVENIJI 2009–2010



10





GIS V SLOVENIJI 10  
GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SISTEMI  
V SLOVENIJI 2009–2010





GIS V SLOVENIJI 10

**GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI  
SISTEMI V SLOVENIJI  
2009–2010**

*Uredila:*

**Drago Perko  
Matija Zorn**

LJUBLJANA 2010

GIS V SLOVENIJI 10  
**GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SISTEMI V SLOVENIJI 2009–2010**  
**Drago Perko, Matija Zorn**

© 2010, Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

*Urednika:* Drago Perko, Matija Zorn

*Uredniški odbor:* Rok Ciglič, Marjan Čeh, David Hladnik, Marjan Jarnjak, Žiga Kokalj, Marko Krevs,  
Drago Perko, Tomaž Podobnikar, Nika Razpotnik, Blaž Repe, Matija Zorn

*Recenzenti:* Rok Ciglič, David Hladnik, Marjan Jarnjak, Žiga Kokalj, Marko Krevs, Drago Perko, Tomaž  
Podobnikar, Blaž Repe, Matija Zorn

*Izdajatelj:* Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

*Za izdajatelja:* Drago Perko

*Soizdajatelj:* Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU,  
Zveza geografov Slovenije, Zveza geodetov Slovenije

*Za soizdajatelje:* Ivan Šprajc, Matej Gabrovec, Jurij Režek

*Založnik:* Založba ZRC

*Za založnika:* Oto Luthar

*Glavni urednik:* Vojislav Likar

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

*Naslovnica:*

Sredi spodnjega dela slike na naslovnici stoji »rožnati dežnik«, ena od oslonilnih točk na robu Triglavskega ledenika za letalsko snemanje. Avtor slike: Matija Zorn. Več o preučevanju Triglavskega ledenika v prispevku Preučevanje Triglavskega ledenika s pomočjo arhivskih Horizontovih fotografij, ki so ga napisali avtorji Matej Gabrovec, Mojca Kosmatin Fras, Dalibor Radovan in Mihaela Triglav Čekada.

---

CIP - Kataložni zapis o publikaciji

Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

659.2:004:91(082)(0.034.2)

GEOGRAFSKI informacijski sistemi v Sloveniji 2009-2010 [Elektronski vir] / uredila Drago Perko, Matija Zorn. - El. knjiga. - Ljubljana : Založba ZRC, 2013. - (GIS v Sloveniji, ISSN 1855-4954 ; 10)

ISBN 978-961-254-567-3 (pdf)

<https://doi.org/10.3986/9789612545673>

1. Perko, Drago, 1961-  
269543168



---

## VSEBINA

<i>dr. Drago Perko, dr. Matija Zorn</i> Zgodovina knjižne zbirke GIS v Sloveniji .....	9
<i>Mauro Hrvatin, dr. Drago Perko</i> Določanje enot oblikovanosti površja Slovenije z metodo regionalne zvezne delitve .....	21
<i>dr. Klemen Zakšek, dr. Žiga Kokalj, dr. Krištof Oštir</i> Uporaba deleža vidnega neba za vizualizacijo reliefa .....	33
<i>dr. Borut Vrščaj, mag. Tone Godeša</i> GIS modeliranje prehodnosti terena za potrebe slovenske vojske .....	41
<i>Rok Ciglič</i> Subjektivnost pri metodi segmentacije .....	55
<i>Mateja Breg Valjavec</i> Digitalni model višin nekdanje pokrajine – primer Logaško polje (leto 1972) .....	65
<i>dr. Dimitrij Mlekuž</i> Lidar in geoarheologija aluvialnih pokrajin .....	79
<i>dr. Jože Čar, Staša Čertalič, dr. Dušan Petrovič</i> Geološka karta »Idrijsko-Cerkljansko hribovje med Stopnikom in Rovtami« .....	89
<i>dr. Blaž Repe</i> Značilne kombinacije pedogenetskih dejavnikov v Sloveniji .....	99
<i>Rok Ciglič, dr. Matija Zorn, dr. Blaž Komac</i> Ugotavljanje plazovitosti z metodo odločitvenih dreves .....	111
<i>dr. Marko Komac, Mateja Jemec</i> Ocena premikov počasnega plazjenja z interferometrično metodo permanentnih sipalcev in GIS .....	121
<i>mag. Miha Pavšek, dr. Blaž Komac, dr. Matija Zorn</i> Ugotavljanje lavinske nevarnosti s pomočjo GIS-a .....	131
<i>dr. Mihaela Triglav Čekada, dr. Dalibor Radovan, dr. Matej Gabrovec, dr. Mojca Kosmatin Fras</i> Preučevanje Triglavskega ledenika s pomočjo arhivskih Horizontovih fotografij .....	147
<i>dr. Anka Lisec, mag. Samo Drobne, Primož Kovačič</i> Modeliranje prispevnih območij površinskih voda v GIS-u za smotrno upravljanje zemljišč .....	155
<i>Peter Frantar, dr. Irena Rejec Brancelj</i> Uporaba GIS orodij pri izdelavi kart mesečnih vrednosti specifičnih pretokov v Sloveniji ....	163
<i>dr. Marta Veder, dr. Salvatore Giammanco, dr. Natalija Špeh, Barbara Justin</i> Prostorsko ovrednotenje geokemičnih podatkov v podtalnici na industrijskem območju Šaleške doline .....	171
<i>Erika Jež, dr. Tomaž Podobnikar</i> Napovedovalni model mokrotnih travnikov pri uporabi digitalnega modela višin .....	181
<i>dr. Mihaela Triglav Čekada, dr. Dalibor Radovan</i> Interventna in preventivna snemanja pri naravnih nesrečah .....	189



<i>mag. Tomaž Vernik, dr. Borut Vrščaj, Andrej Ceglar, dr. Zalika Črepinšek, dr. Alenka Šajn - Slak, mag. Matjaž Ivačič</i>	
Suša – od merjenega podatka do GIS portala .....	197
<i>mag. Vasja Bric, mag. Katja Oven, dr. Dalibor Radovan</i>	
Primerjava metod kartiranja prometnih nezgod .....	209
<i>Simon Starček</i>	
Analiza odzivnosti intervencijskih enot, vplivnih območij in dosegljivosti hidrantov v primeru požara ali eksplozije v objektih .....	217
<i>mag. Samo Drobne, dr. Alma Zavodnik Lamovšek, Tadej Žaucer, Blaž Špiler</i>	
Analiza zaznavanja roba urbanih naselij v GIS-u .....	225
<i>dr. Anka Lisec, mag. Samo Drobne, Miha Konjar, dr. Alma Zavodnik Lamovšek</i>	
Modeliranje funkcionalnih območij slovenskih urbanih središč .....	233
<i>Urška Kanjir, dr. Tatjana Veljanovski, Aleš Marsetič, dr. Krištof Oštir</i>	
Vizualno ugotavljanje sprememb urbanih površin na posnetkih Landsat z uporabo indeksa NDVI .....	243
<i>dr. Alma Zavodnik Lamovšek, dr. Marjan Čeh, Uroš Košir</i>	
Analiza dostopnosti prebivalcev do javnih dejavnosti z medkrajevnim avtobusnim potniškim prometom .....	251
<i>dr. Andrej Tibaut, dr. Marjan Lep, mag. Dušan Fajfar, dr. Matej Gabrovec</i>	
SIJPRIS – geografski informacijski sistem za upravljanje javnega potniškega prometa .....	261
<i>mag. Jerneja Fridl, dr. Matej Gabrovec, Nika Razpotnik Visković</i>	
Vloga mrežnih analiz pri vzpostavitvi tarifnega conskega sistema za javni potniški promet .....	273
<i>dr. Žiga Kokalj, dr. Krištof Oštir</i>	
Preoblikovanje prostorskih podatkov na linijske odseke za potrebe dinamičnega cestninjenja .....	283
<i>Sandi Berk, Žarko Komadina</i>	
Trikotniško zasnovana transformacija med starim in novim državnim koordinatnim sistemom Slovenije .....	291
<i>Timotej Mišič</i>	
3D vizualizacija GIS podatkov kot inštrument pri presoji vpliva posegov na vidno okolje – primer črpalne hidroelektrarne Kozjak .....	301
<i>dr. David Bole</i>	
Primer uporabe geografsko obtežene regresije s pomočjo GIS orodja .....	309
<i>Igor Bizjak</i>	
Uporaba medmrežnega GIS sistema za eParticipacijo .....	319
<i>Anita Ipša</i>	
Slovenija v projektu EuroRegionalMap .....	327
<i>dr. Dušan Petrovič, dr. Mojca Kosmatin Fras, dr. Dejan Grigillo, mag. Klemen Kozmus Trajkovski, Primož Kete, Matija Klanjšček, Miran Janežič, Milan Palian</i>	
Interaktivna e-gradiva v podpori učenju zgodovine in geografije v osnovni in srednji šoli .....	335

## ZGODOVINA KNJIŽNE ZBIRKE GIS V SLOVENIJI

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

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

UDK: 91:659.2:004:082.1(497.4)(091)

### IZVLEČEK

#### **Zgodovina knjižne zbirke GIS v Sloveniji**

Knjižna zbirka GIS v Sloveniji je bienalna monografska publikacija, ki izhaja v sodih letih in prinaša presek dveletnega znanstvenega, strokovnega in pedagoškega dela na področju razvoja in uporabe geografskih informacijskih sistemov v Sloveniji. Izdaja jo Geografski inštitut Antona Melika Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti. Leto 2010 je leto izida jubilejnega desetega letnika knjižne zbirke. V vseh letnikih je bilo skupaj objavljenih 294 prispevkov.

### KLJUČNE BESEDE

geografski informacijski sistemi, zgodovina, geografija, geodezija, knjižna zbirka, monografija, Slovenija

### ABSTRACT

#### **History of the book series GIS v Sloveniji**

The book series GIS v Sloveniji (GIS in Slovenia) is a biennial publication of monographs published in even years. It represents a cross-section of two years of research, technical, and educational activities in the development and use of geographic information systems in Slovenia. It is published by the Anton Melik Geographical Institute of the Scientific Research Center of the Slovenian Academy of Sciences and Arts. In 2010, the tenth volume in this series was issued. To date, 294 articles have been published through this series.

### KEY WORDS

geographic information systems, history, geography, geodesy, book series, monograph, Slovenia

## 1 Uvod

22. oktobra 1992 je Zveza geografskih društev Slovenije v sodelovanju z Oddelkoma za geografijo in arheologijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani, Oddelkom za geodezijo takratne Fakultete za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani ter Geografskim inštitutom Antona Melika Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti organizirala prvi simpozij »Geografski informacijski sistemi v Sloveniji« (Černe in ostali 1992, 7). Ob tej priložnosti so v publikaciji Dela Oddelka za geografijo Filozofske fakulteta Univerze v Ljubljani izšli recenzirani referati simpozija z naslovom »Geografski informacijski sistemi v Sloveniji«.

Namen bienalnih srečanj in izdajanj monografij je vsa leta ostal isti: »... zbrati raziskovalce, pedagoge, strokovnjake, uporabnike in proizvajalce GIS tehnologije iz Slovenije, s ciljem dobiti pregled nad tovrstnimi dejavnostmi, izmenjati izkušnje, spodbuditi sodelovaje in nadaljnji razvoj...« (Černe in ostali 1992, 7).

Monografska zbirka kot tudi sočasni simpozij imata že od začetka bienalni značaj. Kot rečeno, je prvi zvezek izšel leta 1992, vendar smo si že leto prej: »... zastavili nalogo, da bomo bienalno predstavljali znanstvene, strokovne in pedagoške dosežke in usmeritve na področju razvoja in uporabe geografskih informacijskih sistemov v Sloveniji...« (Perko in ostali 2006, 11).

Prva tri dveletja sta bila simpozij in publikacija zelo neposredno povezana, saj so bili v monografiji oziroma zborniku objavljeni vsi pozitivno recenzirani referati s simpozija, od leta 1998 pa so v publikaciji objavljeni vsi pozitivno recenzirani prispevki, ki jih avtorji pošljejo na temelju razpisa, na simpoziju pa so predstavljeni le tisti prispevki iz monografije, običajno osem prispevkov, ki jih predlaga uredniški odbor. Monografija tako prinaša razmeroma celovit pregled dosežkov na področju geografskih informacijskih sistemov zadnjega dveletja, simpozij pa pregled le najboljših, najbolj zanimivih ali kako drugače izstopajočih dosežkov zadnjega dveletja.

O posameznih simpozijih so bolj poglobljeno največkrat poročali Geografski obzornik (Perko 1993, 36) in Okolje & prostor (Podobnikar 2000b, 6) ter predvsem Geografski vestnik (Podobnikar 2001, 107–108; Podobnikar 2002b, 118–119; Podobnikar, Oštir in Čeh 2004a, 114–117; Perko 2006, 139–140; Perko 2008, 180–181) in Geodetski vestnik (Podobnikar 2000a, 252–269; Podobnikar 2002a, 473–474; Podobnikar, Oštir in Čeh 2004b, 619–624).

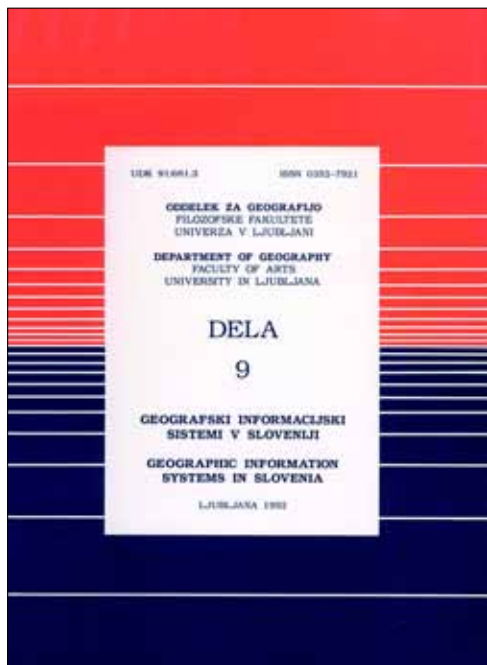
Obsežnejše predstavitve monografij je prinašal le Geografski vestnik (Fridl 2000, 80–81; Fridl 2002, 103–104; Zorn 2004, 93–94; Zorn 2006, 113–115; Zorn 2008, 155–158).

Leta 2008 smo se zaradi zaokrožene vsebine in »... zaradi utečenega izhajanja... odločili, da iz monografij oblikujemo knjižno zbirko...« (Krevs in ostali 2008, 9). Pridobili smo ISSN 1855–4954 in vzpostavili spletno stran zbirke (<http://giam.zrc-sazu.si/kzgiss>).

Leto 2010 prinaša deseti zvezek zbirke GIS v Sloveniji, in njenemu dvajsetletnemu izhajanju je posvečen ta prispevek.

## 2 Razvoj

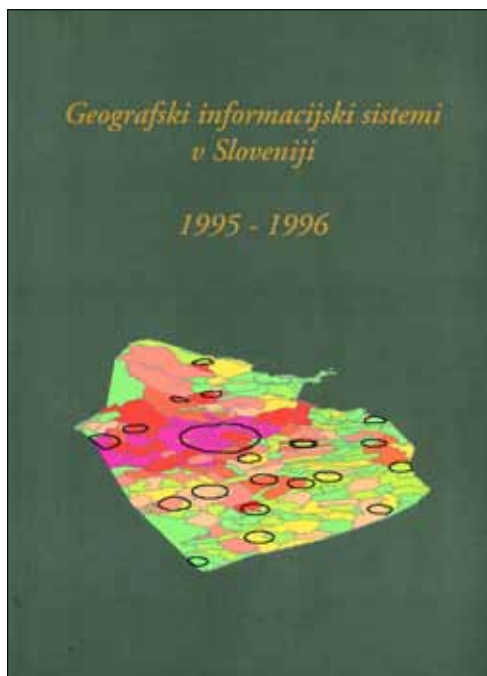
Pred skoraj dvajsetimi leti so v uvodniku k prve monografije zapisali (Černe in ostali 1992, 7): »... Od srede osemdesetih let [preteklega stoletja, op. a.], ko se je prvič pri nas začela uporabljati tehnologija geografskih informacijskih sistemov (GIS), smo priče naglemu razvoju tovrstne tehnologije shranjevanja, obdelave, manipuliranja in predstavitve prostorskih podatkov. Po začetnih sistematičnih poskusih in konceptualnih rešitvah, ponujenih že v sedemdesetih letih pod imenom prostorski informacijski sistemi, je z razvojem tehnologije prišlo do neusklajene uporabe GIS tehnologije. Predvsem so ostala odprta vprašanja glede organizacije podatkovnih prostorskih baz, konceptov izmenjave in gospodarjenja s prostorskimi podatki, stanja razvoja GIS tehnologije in podatkovnih baz, izobraževanja, konceptov nadaljnega razvoja na ravni strok ali pa države in celoti ter možnosti usklajevanja in sodelovanja raziskovalnih potencialov...« (Černe in ostali 1992, 7). Mnoge trditve so presenetljivo aktualne še danes.



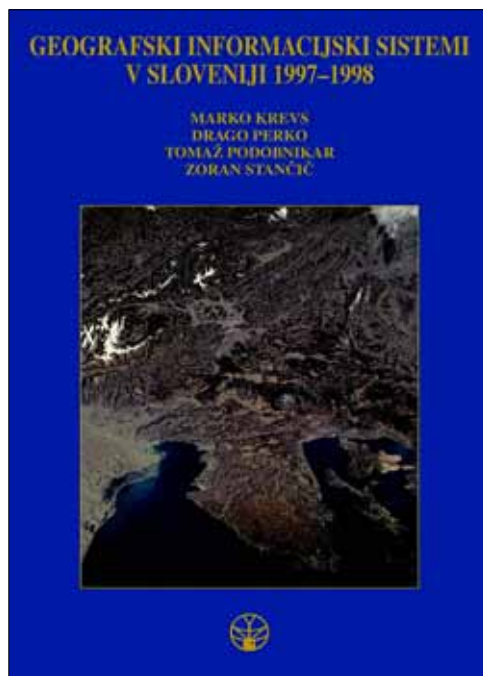
Slika 1: Naslovnica prve knjige GIS v Sloveniji.



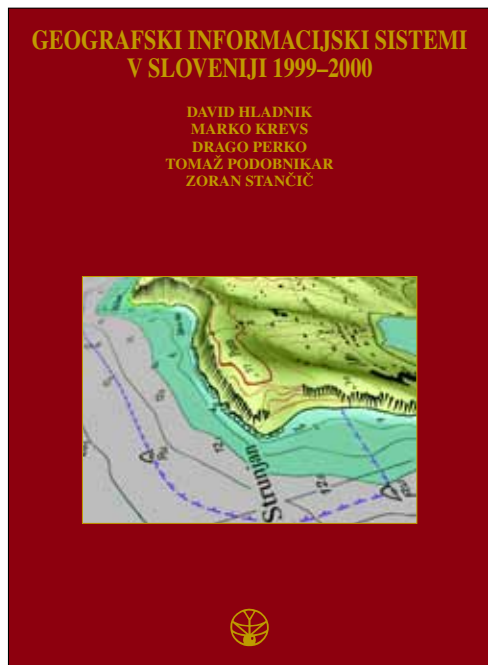
Slika 2: Naslovnica druge knjige GIS v Sloveniji.



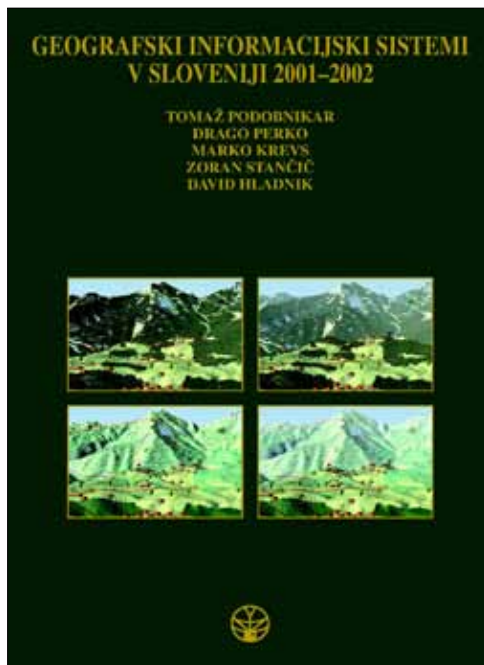
Slika 3: Naslovnica tretje knjige GIS v Sloveniji.



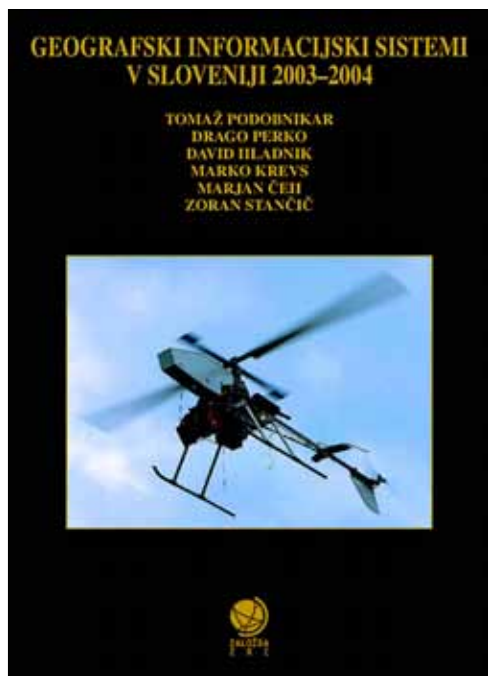
Slika 4: Naslovnica četrte knjige GIS v Sloveniji.



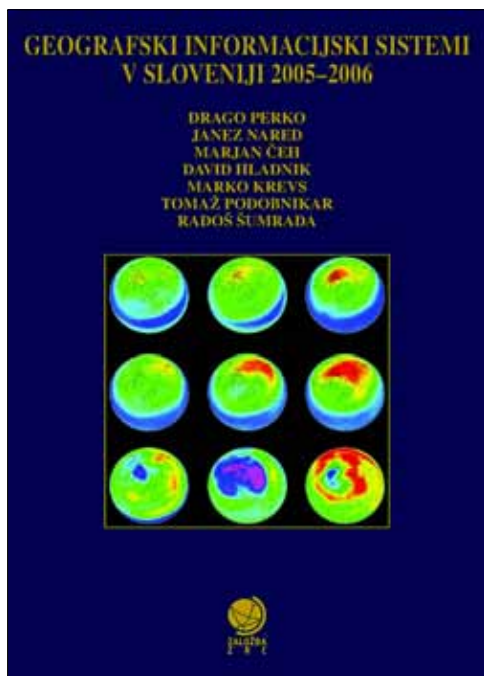
Slika 5: Naslovnica pete knjige GIS v Sloveniji.



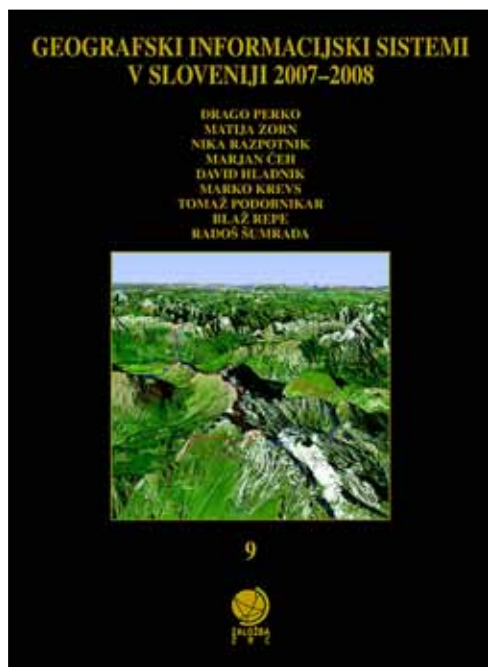
Slika 6: Naslovnica šeste knjige GIS v Sloveniji.



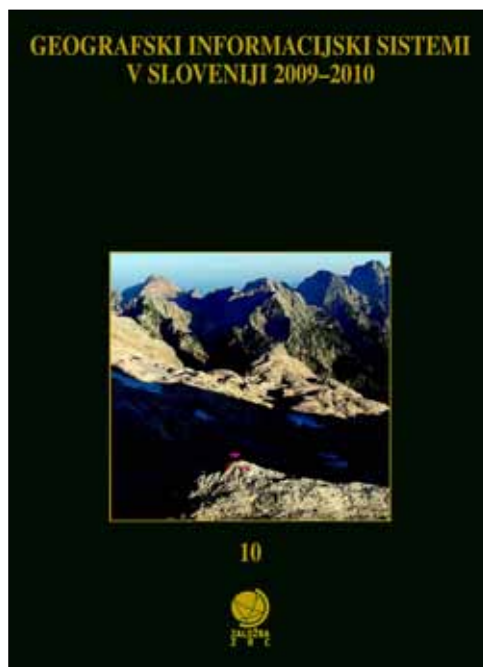
Slika 7: Naslovnica sedme knjige GIS v Sloveniji.



Slika 8: Naslovnica osme knjige GIS v Sloveniji.



Slika 9: Naslovnica devete knjige GIS v Sloveniji.



Slika 10: Naslovnica desete knjige GIS v Sloveniji.

V tretji monografiji je uredništvo zapisalo (Černe in ostali 1996), da očitno »... GIS-i pri nas niso več nikakršna novost. Vsakdo, ki se danes na kakršenkoli način ukvarja s prostorom, tovrstno tehnologijo skoraj gotovo uporablja, ali o njeni uporabi vsaj resno premišljuje. Prav zato lahko trdimo, da je mladostno obdobje geografskih informacijskih sistemov v Sloveniji že mimo. Tudi objavljeni prispevki se ne ukvarjajo več s poskusi opredeljevanja GIS-ov ali prikazom njihovih zmožnosti, temveč se osredotočajo na zahtevne aplikacije in uporabniške vidike le-teh. Geografski informacijski sistemi zatorej prihajajo v zrela leta...« (Krevs in ostali 1998, 5).

V šesti monografiji je zapisano, da »... zbornik v tehničnem smislu [predvsem zaradi črno-belega tiska, finančnih zmožnosti in časovnih omejitev, op. a.] ne sledi izjemnemu tehnološkemu napredku, katerega so doživeli ... geografski informacijski sistemi...« (Podobnikar in ostali 2002, 9). Že v naslednji monografiji smo delno odpravili to pomanjkljivost, pri zadnjih treh pa je ustrezna predstavitev kartografskega in drugega slikovnega gradiva ena od ključnih nalog uredništva.

V zbirki lahko sledimo ne le razvoju GIS-ov, pač pa tudi razmahu nekaterih drugih informacijskih »revolucij«, na primer interneta. Tako v sedmi monografiji beremo, da »... na področju lokacijskih internetnih storitev dobiva uporaba GIS-a in obnavljanje zbirk prostorskih podatkov nov zagon...« (Uredniški ... 2004, 9).

Pregled čez vse monografije pa pokaže tudi na izjemen razvoj digitalne kartografije in povečano kakovost sploh vseh grafičnih prilog pri večini avtorjev.

### 3 Izdajanje in urejevanje

Pri nastajanju knjižne zbirke GIS v Sloveniji je v dvajsetletnem obdobju sodelovalo dvanajst posameznikov kot urednikov in dvajset posameznikov kot članov uredniškega odbora (preglednica 1). Vsaj

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

zvezek	leto izida	strani	izdajatelj	soizdajatelj
1	1992	245	Oddelek za geografijo Filozofske fakulteta Univerze v Ljubljani	
2	1994	248	Zveza geografskih društev Slovenije, Zveza geodetov Slovenije	
3	1996	176	Zveza geografskih društev Slovenije, Zveza geodetov Slovenije	
4	1998	272	Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti	Zveza geografskih društev Slovenije, Zveza geodetov Slovenije
5	2000	286	Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti	Zveza geografskih društev Slovenije, Zveza geodetov Slovenije
6	2002	239	Prostorsko informacijska enota Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Geografski inštitut Antona Melika Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti	Zveza geografskih društev Slovenije, Zveza geodetov Slovenije
7	2004	373	Inštitut za antropološke in prostorske študije Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Geografski inštitut Antona Melika Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti	Zveza geografskih društev Slovenije, Zveza geodetov Slovenije
8	2006	325	Geografski inštitut Antona Melika Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Inštitut za antropološke in prostorske študije Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti	Zveza geografskih društev Slovenije, Zveza geodetov Slovenije
9	2008	441	Geografski inštitut Antona Melika Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti	Inštitut za antropološke in prostorske študije Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Zveza geografskih društev Slovenije, Zveza geodetov Slovenije
10	2010	341	Geografski inštitut Antona Melika Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti	Inštitut za antropološke in prostorske študije Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Zveza geografskih društev Slovenije, Zveza geodetov Slovenije

## Zgodovina knjižne zbirke GIS v Sloveniji

založnik	urednik	uredništvo
	Mirko Pak	Andrej Černe, Marko Krevs, Drago Perko, Zoran Stančič, Peter Šivic
Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti		Andrej Černe, David Hladnik, Jurij Hudnik, Marko Krevs, Drago Perko, Roman Rener, Zoran Stančič, Radoš Šumrada
Zveza geografskih društev Slovenije, Zveza geodetov Slovenije		Andrej Černe, David Hladnik, Jurij Hudnik, Marko Krevs, Drago Perko, Roman Rener, Zoran Stančič, Radoš Šumrada
Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti	Marko Krevs, Drago Perko, Tomaž Podobnikar, Zoran Stančič	Andrej Černe, David Hladnik, Jurij Hudnik, Marko Krevs, Drago Perko, Tomaž Podobnikar, Roman Rener, Zoran Stančič, Radoš Šumrada
Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti	David Hladnik, Marko Krevs, Drago Perko, Tomaž Podobnikar, Zoran Stančič	Andrej Černe, David Hladnik, Jurij Hudnik, Marko Krevs, Drago Perko, Tomaž Podobnikar, Roman Rener, Zoran Stančič, Radoš Šumrada
Založba ZRC	Tomaž Podobnikar, Drago Perko, Marko Krevs, Zoran Stančič, David Hladnik	David Hladnik, Marko Krevs, Drago Perko, Tomaž Podobnikar, Roman Rener, Zoran Stančič, Bojan Stanovnik, Radoš Šumrada
Založba ZRC	Tomaž Podobnikar, Drago Perko, David Hladnik, Marko Krevs, Marjan Čeh, Zoran Stančič	Marjan Čeh, David Hladnik, Marko Krevs, Janez Nared, Drago Perko, Tomaž Podobnikar, Roman Rener, Zoran Stančič, Bojan Stanovnik, Radoš Šumrada, Klemen Zakšek
Založba ZRC	Drago Perko, Janez Nared, Marjan Čeh, David Hladnik, Marko Krevs, Tomaž Podobnikar, Radoš Šumrada	
Založba ZRC	Drago Perko, Matija Zorn, Nika Razpotnik, Marjan Čeh, David Hladnik, Marko Krevs, Tomaž Podobnikar, Blaž Repe, Radoš Šumrada	
Založba ZRC	Drago Perko, Matija Zorn	Rok Ciglič, Marjan Čeh, David Hladnik, Marjan Jarnjak, Žiga Kokalj, Marko Krevs, Drago Perko, Tomaž Podobnikar, Nika Razpotnik, Blaž Repe, Matija Zorn



petkrat so bili uredniki: David Hladnik petkrat, Marko Krevs šestkrat, Drago Perko sedemkrat in Tomaž Podobnikar šestkrat, člani uredniškega odbora pa: Andrej Černe petkrat, David Hladnik sedemkrat, Marko Krevs osemkrat, Drago Perko prav tako osemkrat, Tomaž Podobnikar petkrat, Roman Rener šestkrat, Zoran Stančič sedemkrat in Radoš Šumrada šestkrat.

Med ustanovami se pri izdajateljih največkrat pojavlja Geografski inštitut Antona Melika Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti, pri soizdajateljih stanovski združenji Zveza geografskih društev Slovenije (zdaj Zveza geografov Slovenije) in Zveza geodetov Slovenije, pri založnikih pa Založba ZRC.

## 4 Vsebina

Vse monografije kažejo »... izjemno mnogovrstnost uporabe GIS-ov... Kljub vsemu je razvoj izvirnih metodologij GIS-ov pri nas, razen redkih izjem, še redek.« (Uredniški ... 2004, 9). Tako le »... izjemoma zasledimo izvirne znanstvene ali aplikativne prispevke na ožjem področju geografskih informacijskih sistemov oziroma geografske informacijske znanosti. Prevladujejo namreč predstavitve že obstoječih metod in tehnoloških rešitev...« (Perko in ostali 2006, 11).

Poleg tega se skozi monografije lahko sledi še nekaterim drugim »... pomanjkljivostim slovenske geoinformatike...«, tako »... raba GIS-ov... ostaja v veliki meri zaprta v okviru posameznih strok ali ustanov in je torej še malo izkoriščena možnost ugodnih učinkov medsebojnega sodelovanja med strokami in ustanovami...« (Perko in ostali 2006, 11). Poleg tega opažamo, da se je v »... letih izhajanja knjig Geografski informacijski sistemi v Sloveniji in še nekoliko daljšem obdobju objav s področja geoinformatike razširila uporaba vrste... terminoloških nepravilnosti...«, na primer pri »... zapisovanju same kratic GIS...«. »... Zavzemamo se za dosledno uporabo pravopisnih pravil: »... končnice kratičnih imen, ki se končujejo na soglasnik, pišemo z malo, s stičnim vezajem...« (Slovenski pravopis 2001). GIS uporabljamo kot samostalnik moškega spola...«, zato »... predlagamo naslednjo edninsko oziroma množinsko rabo:

- kadar kratico uporabljamo v ednini (na primer GIS, GIS-a), se nanaša na konkreten geografski informacijski sistem (na primer GIS na Oddelku za nepremičnine), redkeje na splošen termin (na primer GIS v primerjavi s tradicionalno metodo);
- kadar govorimo na splošno, kratico največkrat uporabimo v množinski obliki, ki je vedno zapisana z ustreznno končnico (na primer GIS-i, GIS-ov)...« (Krevs in ostali 2008, 11).

Problemi na področju terminologije se kažejo prek vseh monografij. Sprva so imeli avtorji velike probleme že pri slovenjenju temeljnih izrazov na področju geografskih informacijskih sistemov, kasneje pa je večji problem postala neenotna raba izrazov med posameznimi strokami, kar pa je pri geografskih informacijskih sistemih kot izrazito multidisciplinarnem področju razumljivo. V zadnjih letih opažamo, da se avtorji pri nekaterih tujih izrazih sploh ne trudijo več, da bi našli ustrezne slovenske izraze, in jih med besedilom uporabljajo kar v tujejezični obliki.

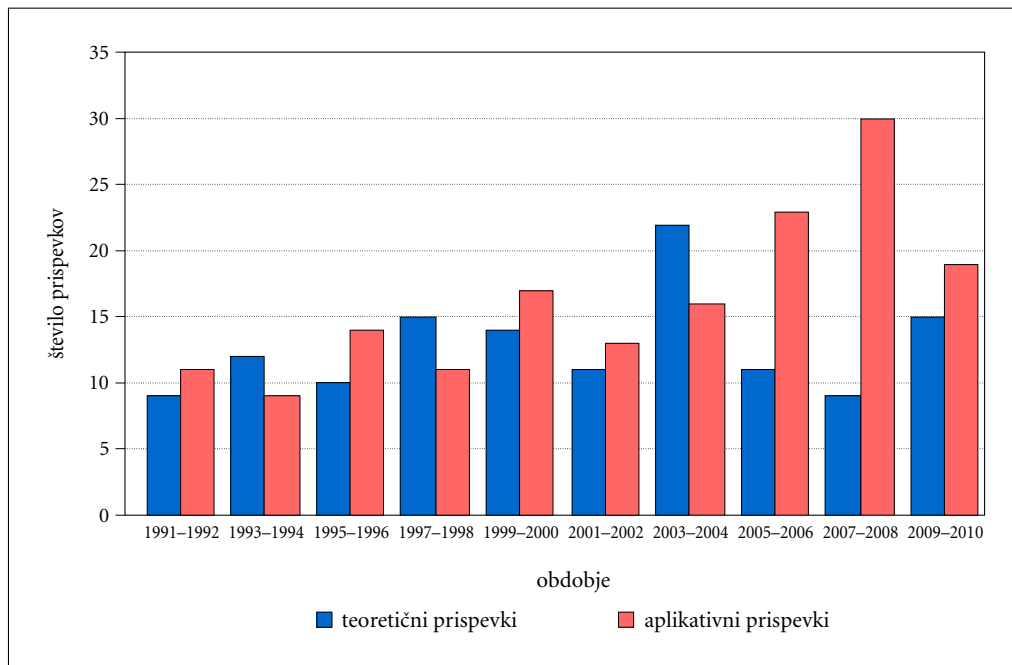
Po vsebini lahko prispevke v monografijah ločimo na bolj teoretične in bolj aplikativne na eni strani ter bolj znanstvene in bolj pregledne na drugi strani. Spreminjanje razmerja med posameznimi kategorijami prispevkov kažeta sliki 11 in 12. Razmerja so sicer približna, saj je posamezne prispevke moč uvrstiti v več kategorij hkrati, kljub vsemu pa je opazen premik k večanju deleža aplikativnih prispevkov glede na teoretične prispevke in večanju deleža znanstvenih prispevkov glede na bolj strokovne oziroma pregledne prispevke, kar je oboje prej dobro in vzpodbudno kot slabo. V prvi monografiji je bilo razmerje med znanstvenimi in preglednimi prispevki 12:9, v deseti monografiji pa že 27:7.

Število prispevkov po posameznih vsebinskih področjih med monografijami precej niha, morda je prav v jubilejni deseti knjigi razmerje med področji še najbolj uravnoteženo (slika 13).

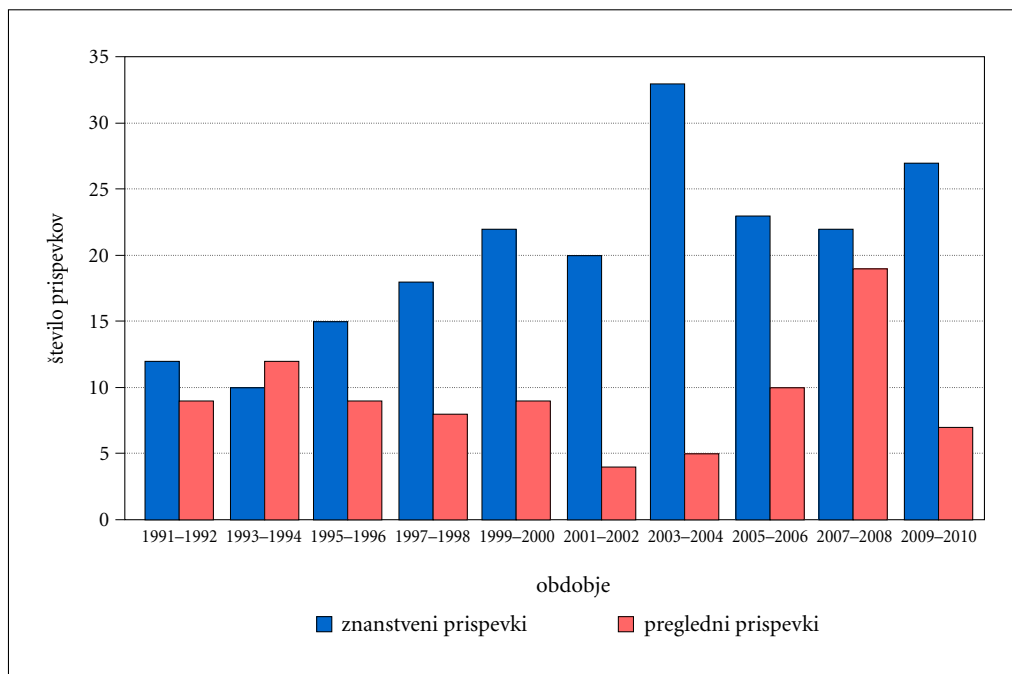
Največ prispevkov so napisali sodelavci Oddelka za geodezijo Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani, skupaj 35, več kot trideset pa še Inštitut za antropološke in prostorske študije

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

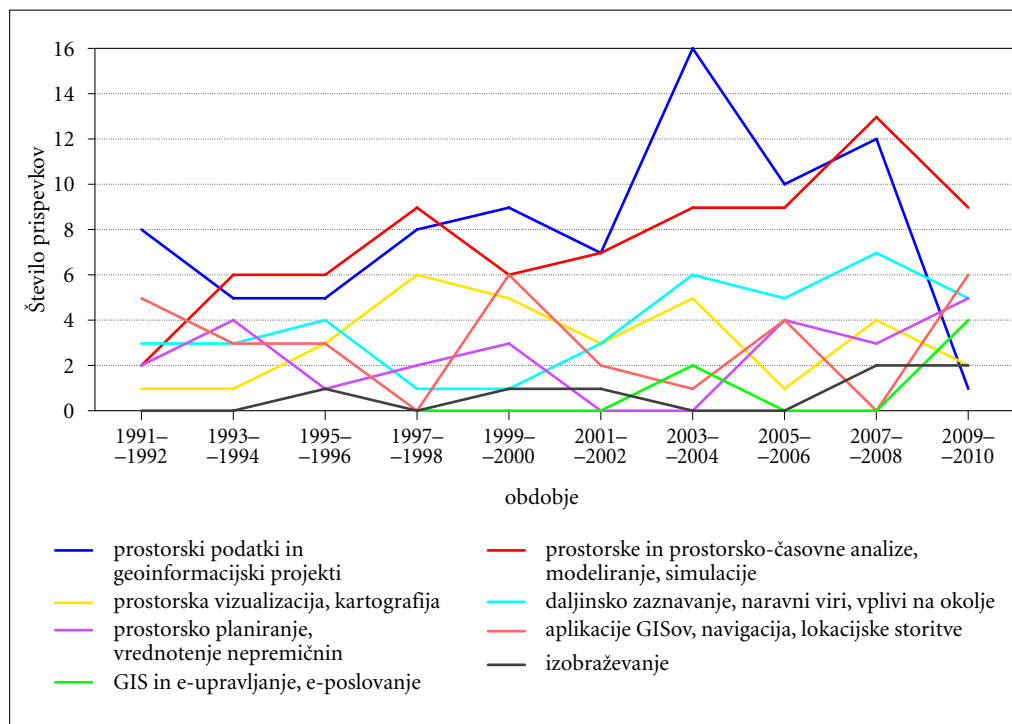
leto	1992	1993–	1995–	1997–	1999–	2001–	2003–	2005–	2007–	2009–	skupaj
	1994	1996	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010		
monografija	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Oddelek za geodezijo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani	2	3	3	2	5	3	4	1	5	7	35
Inštitut za antropološke in prostorske študije, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti	1	2	3	2	2	2	7	6	7	4	34
Geografski inštitut Antona Melika, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti	2	3	1	5	1	2	2	3	3	10	32
Geodetski inštitut Slovenije	2	4	1	2	4	2	4	2	4	6	31
Geodetska uprava Republike Slovenije	1	1	3	1	3	3	3	2	1	1	16
Urad za statistiko Republike Slovenije	3	1	2	2	3	2	2	1			14
IGEA	2	2	2	4			1		3	1	13
Agencija Republike Slovenije za okolje	2	1					4	4	1	1	13
Geološki zavod Slovenije			3			1	2	2	2	2	12
Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani	1	1		1	2	1	1		3	1	10
Urbanistični inštitut Slovenije	1	1		2		1	1	2	1	1	9
Oddelek za gradbeništvo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani	1	2		1	1	1		1	3		9
Ministrstvo za okolje in prostor	1	1	3	1		1			1		8
Gozdarski inštitut Slovenije			2		1				3		6
Geodetski zavod Slovenije			2	1	1	1					5
Fakulteta za pomorstvo in promet, Univerza v Ljubljani			1		1	2	1	1			5
Kmetijski inštitut Slovenije							2	1	2	1	5
ostale ustanove v Ljubljani	6	4	1	5	8	10	9	12	9	4	68
ostale ustanove zunaj Ljubljane	2	1	2	2	1	3	2	2	6	6	27
tujе ustanove	0	0	1	1	0	0	1	0	4	3	10
skupaj	20	27	25	32	36	28	47	41	56	50	362



Slika 11: Spreminjanje razmerja med »teoretičnimi« in »aplikativnimi« prispevki.



Slika 12: Spreminjanje razmerja med »znanstvenimi« in »preglednimi« prispevki.



Slika 13: Spreminjanje razmerja med prispevki glede na vsebinska področja.

Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Geografski inštitut Antona Melika Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti ter Geodetski inštitut Slovenije (preglednica 2).

## 5 Sklep

Primerjava med prvo in zadnjo monografijo v knjižni zbirki GIS v Sloveniji pokaže na nedvomno izjemen vsestranski napredek na področju geografskih informacijskih sistemov. Na eni strani se je močno izboljšala raven prispevkov v tehničnem smislu, predvsem glede na kakovost zemljevidov, shem, diagramov in drugih slikovnih prikazov, prav tako pa tudi vsebinska pestrost prispevkov. Njihovo število se je ustalilo med 30 in 40, narašča pa število avtorjev na posamezni prispevek in število ustanov, s katerih prihajajo avtorji. Ugodna je tudi vse večja zastopanost različnih strok, tudi takih, za katere so mnogi še pred kratkim menili, da jim geografski informacijski sistemi pri njihovem delu ne morejo prav dosti pomagati (na primer slovenski jezik).

V prihodnjih monografijah si ne želimo povečevati števila prispevkov, pač pa povečati njihovo kakovost in pestrost. Še vedno je malo prispevkov s področja izobraževanja, v nobeni monografiji doslej nista bila s tega področja objavljena več kot dva prispevka. Želimo si sodelovanja novih avtorjev, novih ustanov in novih vsebin, pri katerih se bodo lahko izkazali geografski informacijski sistemi.

Predvsem pa bi radi od avtorjev dosegli, da bi večjo skrb namenili tudi slovenskemu jeziku in razvijali slovensko izrazje tudi na področju geografskih informacijskih sistemov.

## 6 Viri in literatura

- Černe, A., Hladnik, D., Hudnik, J., Krevs, M., Perko, D., Renner, R., Stančič, Z., Šumrada, R. 1996: Uvodnik. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1995–1996. Ljubljana.
- Černe, A., Krevs, M., Perko, D., Stančič, Z., Šivic, P. 1992: Uvodnik. Dela 9. Ljubljana.
- Fridl, J. 2000: David Hladnik, Marko Krevs, Drago Perko, Tomaž Podobnikar, Zoran Stančič (uredniki): Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1999–2000. Geografski vestnik 72-2. Ljubljana.
- Fridl, J. 2002: Tomaž Podobnikar, Drago Perko, Marko Krevs, Zoran Stančič, David Hladnik (uredniki): Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2001–2002. Geografski vestnik 74-2. Ljubljana.
- Krevs, M., Čeh, M., Hladnik, D., Perko, D., Podobnikar, T., Razpotnik, N., Repe, B., Šumrada, R., Zorn, M. 2008: Uvodnik. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008. GIS v Sloveniji 9. Ljubljana.
- Krevs, M., Perko, D., Podobnikar, T., Stančič, Z. 1998: Uvodnik. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1997–1998. Ljubljana.
- Perko, D. 1993: Simpozij Geografski informacijski sistem v Sloveniji. Geografski obzornik 40-1. Ljubljana.
- Perko, D. 2006: 8. biennialni simpozij Geografski informacijski sistemi v Sloveniji, Ljubljana, 26. 9. 2006. Geografski vestnik 78-2. Ljubljana.
- Perko, D. 2008: 9. biennialni simpozij Geografski informacijski sistemi v Sloveniji, Ljubljana, 30. 9. 2008. Geografski vestnik 80-2. Ljubljana.
- Perko, D., Nared, J., Čeh, M., Hladnik, D., Krevs, M., Podobnikar, T., Šumrada, R. 2006: Uvodnik. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2005–2006. Ljubljana.
- Podobnikar, T. 2000a: »Geografski informacijski sistemi v Sloveniji«: peta predstavitev dosežkov slovenske geoinformatike. Geodetski vestnik 44-3. Ljubljana.
- Podobnikar, T. 2000b: GIS v Sloveniji – peti biennialni simpozij o dosežkih geoinformatike pri nas. Okolje & prostor 64 (okt. 2000). Ljubljana.
- Podobnikar, T. 2001: Peti biennialni simpozij »Geografski informacijski sistemi v Sloveniji«, Ljubljana, 26. 9. 2000. Geografski vestnik 73-1. Ljubljana.
- Podobnikar, T. 2002a: Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2001–2002, šestič. Geodetski vestnik 46-4. Ljubljana.
- Podobnikar, T. 2002b: Šesti simpozij »Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2001–2002«, Ljubljana, 24. 9. 2002. Geografski vestnik 74-2. Ljubljana.
- Podobnikar, T., Oštir, K., Čeh, M. 2004a: 7. biennialni simpozij Geografski informacijski sistemi v Sloveniji: Ljubljana, 28. 9. 2004. Geografski vestnik 76-2. Ljubljana.
- Podobnikar, T., Oštir, K., Čeh, M. 2004b: Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2003–2004, sedmi biennialni simpozij. Geodetski vestnik 48-4. Ljubljana.
- Podobnikar, T., Perko, D., Krevs, M., Stančič, Z., Hladnik, D. 2002: Uvodnik. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2001–2002. Ljubljana.
- Uredniški odbor 2004: Uvodnik. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2003–2004. Ljubljana.
- Zorn, M. 2004: Tomaž Podobnikar, Drago Perko, David Hladnik, Marko Krevs, Marjan Čeh, Zoran Stančič (uredniki): Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2003–2004. Geografski vestnik 76-2. Ljubljana.
- Zorn, M. 2006: Drago Perko, Janez Nared, Marjan Čeh, David Hladnik, Marko Krevs, Tomaž Podobnikar, Radoš Šumrada (uredniki): Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2005–2006. Geografski vestnik 78-2. Ljubljana.
- Zorn, M. 2008: Drago Perko, Matija Zorn, Nika Razpotnik, Marjan Čeh, David Hladnik, Marko Krevs, Tomaž Podobnikar, Blaž Repe, Radoš Šumrada (uredniki): Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008, GIS v Sloveniji 9. Geografski vestnik 80-2. Ljubljana.

## DOLOČANJE ENOT OBLIKOVANOSTI POVRŠJA SLOVENIJE Z METODO REGIONALNE ZVEZNE DELITVE

**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: 911.2:551.43(497.4)

### IZVLEČEK

#### **Določanje enot oblikovanosti površja Slovenije z metodo regionalne zvezne delitve**

Oblikovanost površja je pogosto najpomembnejši dejavnik razlikovanja med pokrajinami in pomembna prvina pri geografskih klasifikacijah, tipizacijah in regionalizacijah, zato imajo morfološke delitve površja v tujini in pri nas že dolgo tradicijo. Z razvojem geografskih informacijskih sistemov se je močno povečalo število metod in kazalnikov za določanje, analizo in razvrščanje enot oblikovanosti površja na različnih velikostnih ravneh. Glede na prostorsko združevanje lahko ločimo zvezne in nezvezne delitve površja, glede na vrednosti in meje vrednosti kazalnikov pa globalne in regionalne delitve površja. V prispevku predstavljamo primer metode regionalne zvezne delitve površja in ugotavljamo njeno primernost za delitev površja v Sloveniji.

### KLJUČNE BESEDE

geomorfologija, relief, površje, enota oblikovanosti površja, Slovenija, metoda zvezne in nezvezne delitve površja, metoda globalne in regionalne delitve površja, digitalni model višin, geografski informacijski sistem

### ABSTRACT

#### **Determination of Slovenia's landforms using method of regional continuous classification**

Landforms are often the most important factor in distinguishing between regions and an important element of geographic classification, typification, and regionalization; this is why morphological classification has had a long tradition in Slovenia and abroad. The number of methods and indicators for determination, analysis and classification of surface morphological units at different scales has strongly increased with the development of geographic information system. With regard to spatial joining continuous and discontinuous classification could be distinguished and with regard to values and its limits global and regional classification could be distinguished. In the article we present the method of regional continuous classification and test its suitability (effectiveness) in Slovenia.

### KEY WORDS

geomorphology, relief, surface, landform unit, Slovenia, method of continuous and discontinuous surface classification, method of global and regional surface classification, digital elevation model, geographic information system

## 1 Uvod

Relief ali oblikovanost površja je najpomembnejša sestavina slovenskih pokrajin, saj odločilno vpliva na njihove naravne sestavine in največ prispeva k njihovi zunanji podobi (Perko 1998; Perko 2001; Hrvatin in Perko 2002, 2003; Perko 2007), zato številne geografske klasifikacije, tipizacije in regionalizacije slonijo prav na oblikovanosti površja.

Slovenski geografi so pripravili že več delitev ozemlja glede na relief. Najstarejšo reliefno tipizacijo je izdelal Melik, ki je na geomorfološki karti slovenskega ozemlja ločil 16 enot oblikovanosti površja (Melik 1935), po dolgem časovnem presledku pa je novo reliefno tipizacijo Slovenije pripravil Natek, ki je ločil 8 tipov površja (Natek 1993). Prvo računalniško zasnovano tipizacijo je v svoji doktorski disertaciji opravil Perko, ki je slovensko ozemlje razčlenil na 8 enot razgibanosti površja (Perko 1992; Perko 2001; Perko 2007), za Geografski atlas Slovenije pa sta svojo členitev pripravila Gabrovec in Hrvatin in Slovenijo razdelila na 6 reliefnih enot (Gabrovec in Hrvatin 1998).

Tudi v svetu imajo morfološke tipizacije površja že večdesetletno tradicijo. Eno najbolj znanih klasifikacij je opravil ameriški geograf Edwin H. Hammond, ki je podrobno klasificiral površje Združenih držav Amerike (Hammond 1964). Hrvatin in Perko (2009) sta izvirno Hammondovo metodo preizkusila tudi na primeru Slovenije, vendar metoda ni dala dobrih rezultatov, zato sta jo prilagodila (Perko in Hrvatin 2009). Enote, določene s prirejeno metodo, so se bistveno bolj približale dejanskim značilnostim površja v Sloveniji.

## 2 Metoda zvezne in metoda nezvezne delitve površja

Delitev površja je lahko zvezna (angleško *continuous classification*) ali nezvezna (*discontinuous classification*). Klasifikacija in tipizacija sta lahko zvezni ali nezvezni, vendar je klasifikacija bolj pogosto zvezna in tipizacija nezvezna, regionalizacija pa je vedno nezvezna.

Za nezvezno delitev površja je značilno, da posamezne dele površja združujemo v ploskve z enakimi ali podobnimi vrednostmi izbranih reliefnih kazalnikov in jasnimi mejami do sosednjih ploskev z drugačnimi vrednostmi izbranih reliefnih kazalnikov. Take ploskve lahko imenujemo enote. Ploskve z enakimi ali podobnimi vrednostmi reliefnih kazalnikov se lahko v obravnavani pokrajini pojavijo večkrat, vendar so med seboj ločene s ploskvami drugačnih vrednosti reliefnih kazalnikov.

Za zvezno delitev površja pa je značilno, da posamezne dele površja uvrščamo zgolj glede na vrednosti izbranih reliefnih kazalnikov, ne glede na njihovo prostorsko lego. Take neprostorske enote najpogosteje imenujemo razredi. Deli površja torej niso nujno povezani oziroma se ne stikajo, pojavljajo pa se lahko kjerkoli v obravnavani pokrajini.

Nezvezna delitev je bolj kvalitativna, sloni na strokovnem znanju in ima večjo praktično vrednost, vendar je bolj subjektivna, zvezna delitev pa je bolj kvantitativna, objektivna in ima večjo analitično vrednost. Zvezna delitev površja je pogosto le prva stopnja za nezvezno delitev površja, ali drugače: nezvezna delitev površja je običajno nadgradnja zvezne delitve površja.

Pri starejših delitvah površja so v svetu in Sloveniji prevladovale nezvezne delitve površja, po uveljavitvi računalnikov in geografskih informacijskih sistemov pa zvezne delitve površja in kombinacije zveznih in nezveznih delitev površja.

## 3 Metoda globalne in metoda regionalne delitve površja

Kadar pri delitvi površja uporabljamo vrednosti in meje vrednosti izbranih reliefnih kazalnikov, ki so enake za cel svet, govorimo o metodi globalne delitve površja, če pa njihove vrednosti in meje vrednosti prilagodimo posameznim območjem, govorimo o metodi regionalne delitve površja.

Prednost metode globalne delitve je v tem, da omogoča primerjavo med vsemi deli sveta, prednost metode regionalne delitve pa je, da tudi pri tistih delih sveta, ki bi bili po metodi globalne delitve povsem nerazčlenjeni, prikažemo notranje razlike, kar dosežemo s prilagoditvijo vrednosti in mej vrednosti reliefnih kazalnikov dejanskim razmeram v izbrani pokrajini.

V svetu in Sloveniji pri klasifikacijah, tipizacijah in regionalizacijah prevladujejo metode globalne delitve površja ali prirejene metode globalne delitve površja, zelo redka pa je uporaba metode regionalne delitve površja, ki že sama vsebuje prvine prilagajanja različnim pokrajinam. Prirejene metode globalne delitve površja so torej nekakšen prehod med globalnimi in regionalnimi delitvami površja.

## 4 Primer metode regionalne zvezne delitve površja

Eno od najbolj odmevnih regionalnih delitev površja sta pred nedavnim izdelala Iwahashi in Pike (2007). Svojo klasifikacijo sta opravila na treh različno velikih območjih in ob uporabi treh različnih digitalnih modelov višin. Delitev površja na izseku otoka Hokaido sta izvedla na temelju 55-metrskega digitalnega modela višin, delitev celotne Japonske na temelju 270-metrskega digitalnega modela višin in delitev celotnega sveta na temelju 1000-metrskega digitalnega modela višin. Zvezne delitve površja sta v vseh treh primerih opravila na temelju treh kazalnikov oziroma klasifikacijskih kriterijev (naklon površja, krajevna izbočenost površja in tekstura površja), ki sta jih po posebnem postopku hierarhično razvrstila glede na vrednosti aritmetičnih sredin posameznih kriterijev oziroma njihovih slojev v geografskem informacijskem sistemu. Ker smo klasifikaciji Iwahashija in Pikea v veliki meri sledili tudi pri naši delitvi, so podrobnosti priprave klasifikacijskih kriterijev in členitve na posamezne razrede pojasnjene v nadaljevanju prispevka.

Med omenjenimi členitvami Iwahashija in Pikea je za nas zagotovo najbolj zanimiva delitev površja Slovenije v okviru zvezne delitve površja celotnega sveta na 16 razredov (na sliki 1 smo zaradi primerjave z našo delitvijo 16 razredov združili v 12). Skoraj devet desetin slovenskega ozemlja je razporejenih v samo štirih razredih od šestnajstih razredov. Največji delež ozemlja, kar 37,7 %, pripada prvemu razredu, ki vključuje območja z zelo velikim naklonom, visokim deležem izbočenosti in veliko razčlenjenostjo. S 27,7 % sledi tretji razred, ki vključuje območja z zelo velikim naklonom, nizkim deležem izbočenosti in veliko razčlenjenostjo. Na tretjem mestu je s 15,1 % sedmi razred, ki vključuje območja z velikim naklonom, nizkim deležem izbočenosti in veliko razčlenjenostjo, na četrtem pa z 8,6 % peti razred, ki vključuje območja z velikim naklonom, visokim deležem izbočenosti in veliko razčlenjenostjo. Če povsem na kratko povzamemo, je slovensko površje v svetovnem merilu predvsem nadpovprečno strmo in nadpovprečno razčlenjeno.

## 5 Regionalna zvezna delitev površja Slovenije

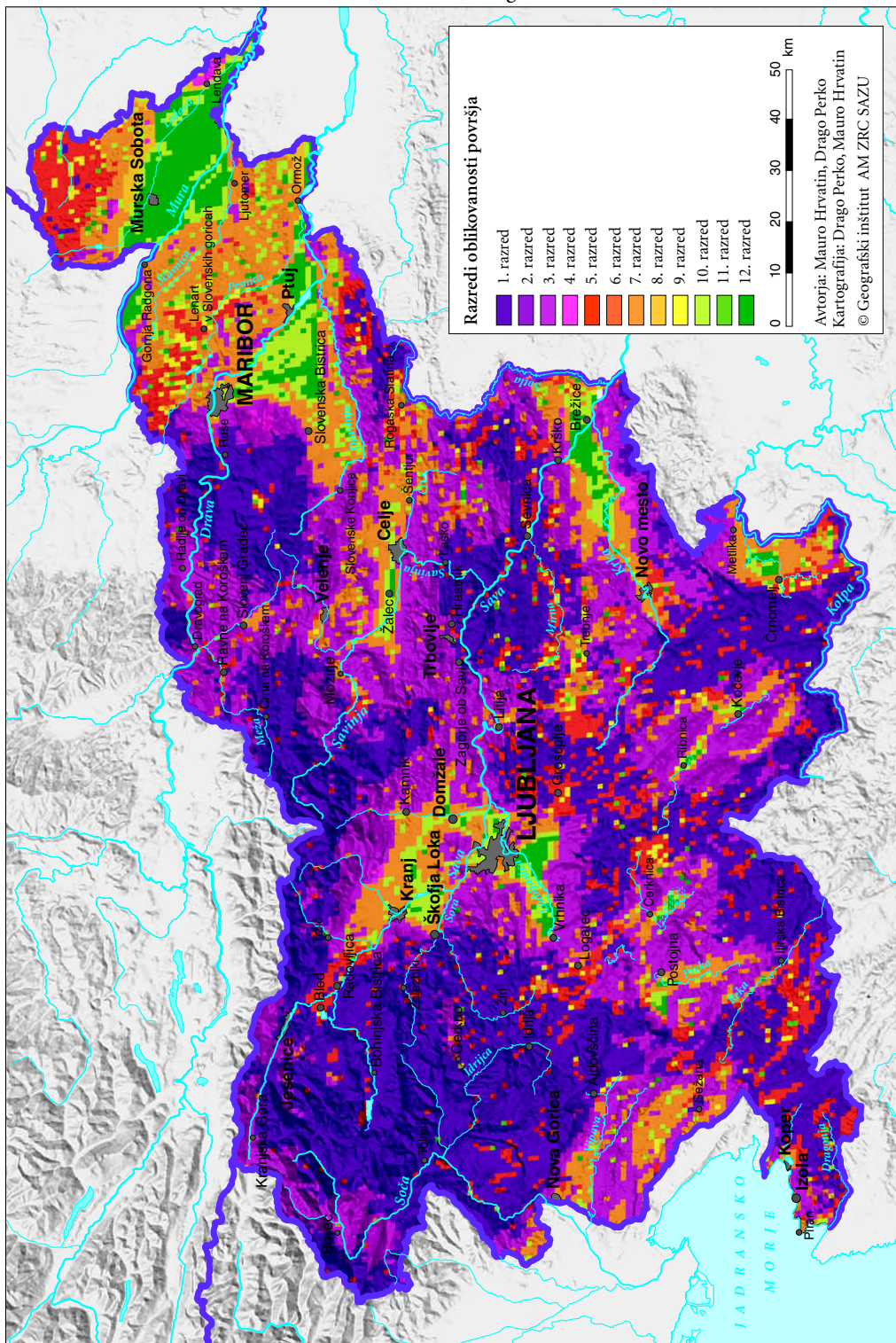
Po vzoru Iwahashija in Pikea smo tudi pri delitvi slovenskega površja uporabili iste klasifikacijske kriterije (slika 2):

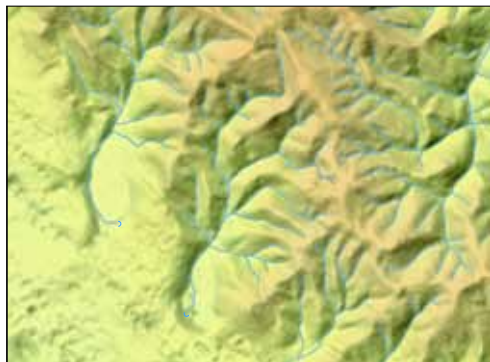
- naklon površja (*slope gradient*),
- krajevno izbočenost površja (*local convexity*) in
- teksturo površja (*surface texture*).

Pri vseh izračunih smo uporabili 25-metrski digitalni model višin, ki smo ga leta 2005 izdelali na Znanstvenoraziskovalnem centru Slovenske akademije znanosti in umetnosti za Geodetsko upravo Republike Slovenije (Podobnikar 2002; Podobnikar 2005; Podobnikar 2006). Sestavljajo ga podatki o nadmorskih višinah točk, ki so od severa proti jugu oziroma od vzhoda proti zahodu oddaljene 25 m in so oglišča kvadratnih celic z osnovnico 25 m, diagonalo 35 m in površino 625 m<sup>2</sup> (Digitalni ... 2005).

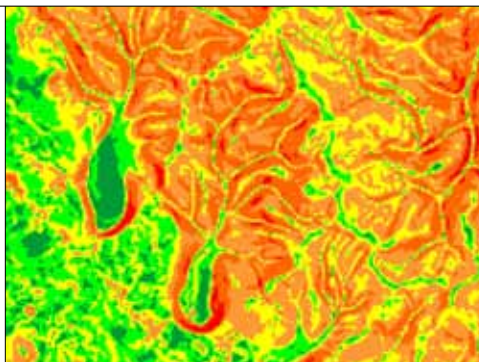
Slika 1: Izsek Slovenije iz zemljevida zvezne delitve celotnega sveta (Iwahashi in Pike 2007). ► (str. 24)



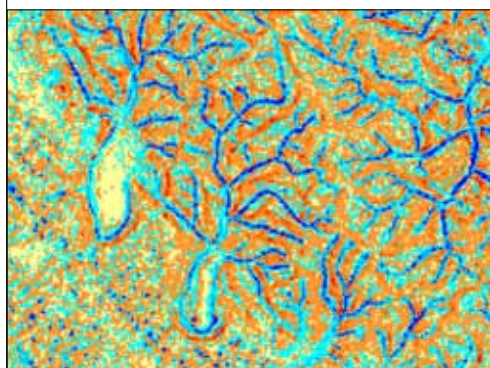




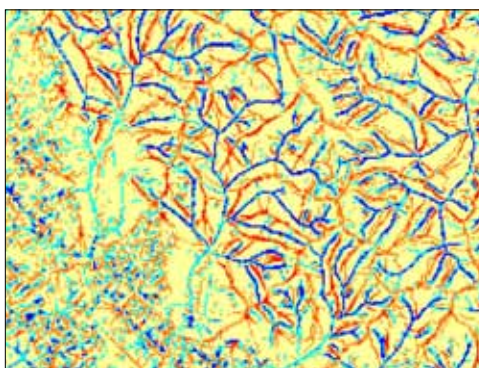
RELIEF



NAKLON

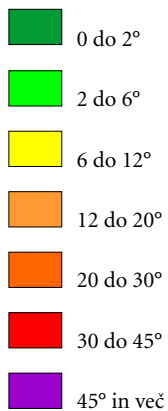


IZBOČENOST

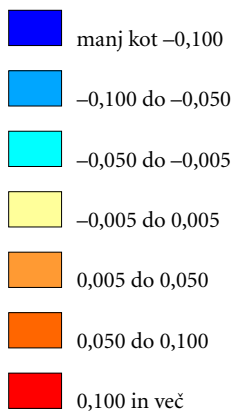


TEKSTURA

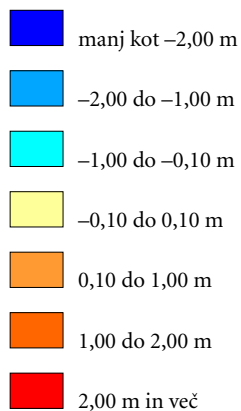
**Legenda naklonov**



**Legenda izbočenosti**



**Legenda teksture**



Slika 2: Klasifikacijski kazalniki na primeru stika Brkinov s Podgrajskim podoljem.

Testiranje je pokazalo, da je njegova natančnost za celo Slovenijo 3,2 m: za ravnine 1,1 m, za gričevja 2,3 m, za hribovja 3,8 m in za gorovja 7,0 m (Podobnikar 2006; Hrvatin in Perko 2005). Za izračune s pomočjo geografskega informacijskega sistema smo uporabili programske pakete ArcGIS (McCoy in Johnston 2001), TAS (Lindsay 2005) in IDRISI (Eastman 1995).

Naklon površja smo izračunali v ARCGis-u in uporabili *Spatial Analyst*, ki za ta namen uporablja Hornov algoritem (Horn 1981).

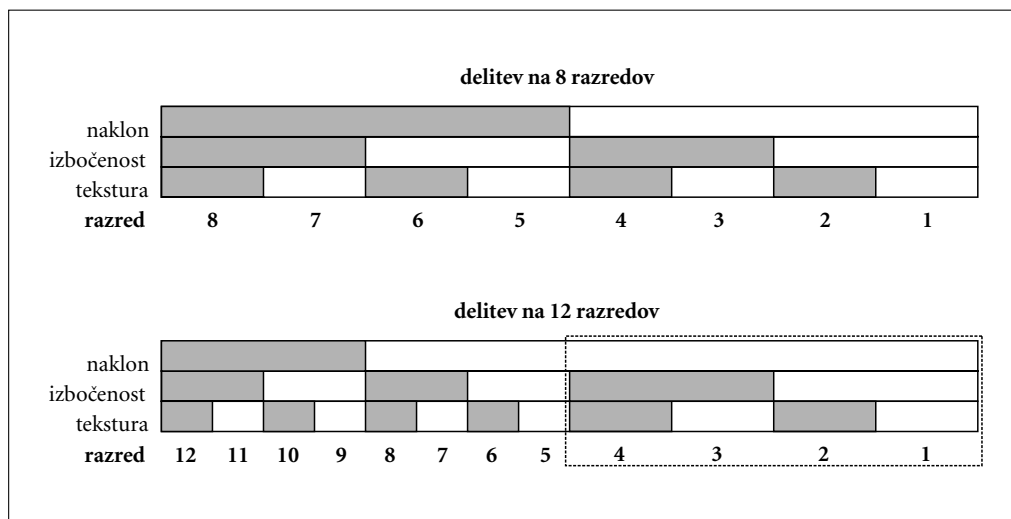
Nekoliko bolj zahtevna je bila priprava naslednjih dveh kazalnikov. Krajevno izbočenost površja sta Iwahashi in Pike določila z uporabo visokoprepustnega Laplaceovega filtra za odkrivanje robov in je podoben matematični operaciji drugega odvoda. Filter poudarja robove v vseh smereh in s tem temeljne značilnosti oblikovanosti zemeljskega površja, kot so dna dolin in vrhovi slemen oziroma grebenov (Podobnikar in Možina 2008). Sami smo za ta namen uporabili indeks površinske ukrivljenosti (*surface curvature index*), ki ga je razvil Blaszczyński (1997), izračunali pa smo ga s pomočjo programa TAS (Lindsay 2005), in sicer z uporabo kvadratnega pomičnega okna z velikostjo 9 celic (3 krat 3 celice). Indeks površinske ukrivljenosti ima na izbočenem površju pozitivne vrednosti, na vbočenem negativne, na premem in uravnanim površju pa je vrednost indeksa blizu ničle. Za nadaljnjo pripravo kazalnika krajevne izbočenosti smo zato upoštevali vse celice z vrednostjo nad 0,005 ter jim pripisali vrednost 1, vsem ostalim pa pripisali vrednost 0. S pomočjo okroglega pomičnega okna s polmerom desetih celic smo ugotovili pogostnost pojavljanja izbočenega površja. S tem podatkom smo končno lahko izračunali za vsako celico delež pojavljanja izbočenega površja, in sicer tako, da smo pogostnost pojavljanja delili s površino okroglega pomičnega okna (317 celic oziroma slabih 20 ha).

Teksturo površja smo določili tako, da smo najprej s pomočjo kvadratnega pomičnega okna velikosti z velikostjo 9 celic (3 krat 3 celice) izračunali mediano vsake celice. Sloj z vrednostmi median smo nato odšteli od izvirnega digitalnega modela višin in na ta način dobili sloj, na katerem so izstopali predvsem vrhovi slemen in dna dolin. Z geomorfološkega vidika bi ta sloj lahko poimenovali zemljevid gostote slemen in/ali dolin. Ta sloj hkrati prikazuje tudi razčlenjenost površja, oziroma njegovo teksturo. V nadaljnji pripravi kazalnika teksture površja smo upoštevali vse celice z vrednostjo nad in pod 0,1 m ter jim pripisali vrednost 1, vsem ostalim pa pripisali vrednost 0. Nato smo s pomočjo okroglega pomičnega okna s polmerom desetih celic ugotovili pogostnost pojavljanja razčlenjenega površja. S tem podatkom smo končno lahko za vsako celico izračunali delež pojavljanja razčlenjenega površja, in sicer tako, da smo pogostnost pojavljanja delili s površino okroglega pomičnega okna (317 celic oziroma slabih 20 ha).

Pripravljene klasifikacijske sloje (naklon površja, delež izbočenega površja in delež razčlenjenega površja) smo medsebojno povezali s postopkom hierarhične delitve na temelju vrednosti posameznih aritmetičnih sredin (*nested-means classification*), ki jo je v geografsko raziskovanje oziroma klasificiranje vpeljal Scriptor (1970).

Postopek hierarhične delitve omogoča členitev površja na 8, 12 ali 16 razredov (slika 3). Najpreprostejši je postopek hierarhične delitve na 8 razredov, ki poteka v treh korakih. V prvem koraku ugotovimo povprečen naklon površja in na temelju te vrednosti ločimo površje z nadpovprečnim naklonom (razredi od 1 do 4) od površja s podpovprečnim naklonom (razredi od 5 do 8). V drugem koraku ugotovimo povprečna deleža izbočenega površja za območja z nadpovprečnim naklonom in za območja s podpovprečnim naklonom. Na temelju teh dveh vrednosti ločimo površje z nadpovprečnim naklonom in nadpovprečno izbočenostjo (razreda 1 in 2), površje z nadpovprečnim naklonom in podpovprečno izbočenostjo (razreda 3 in 4), površje s podpovprečnim naklonom in nadpovprečno izbočenostjo (razreda 5 in 6) in površje s podpovprečnim naklonom in podpovprečno izbočenostjo (razreda 7 in 8). V tretjem, zadnjem koraku ugotovimo povprečne deleže razčlenjenega površja za vsa štiri predhodno določena območja. Na temelju teh štirih vrednosti ločimo:

- površje z nadpovprečnim naklonom, nadpovprečno izbočenostjo in nadpovprečno razčlenjenostjo (razred 1),
- površje z nadpovprečnim naklonom, nadpovprečno izbočenostjo in podpovprečno razčlenjenostjo (razred 2),



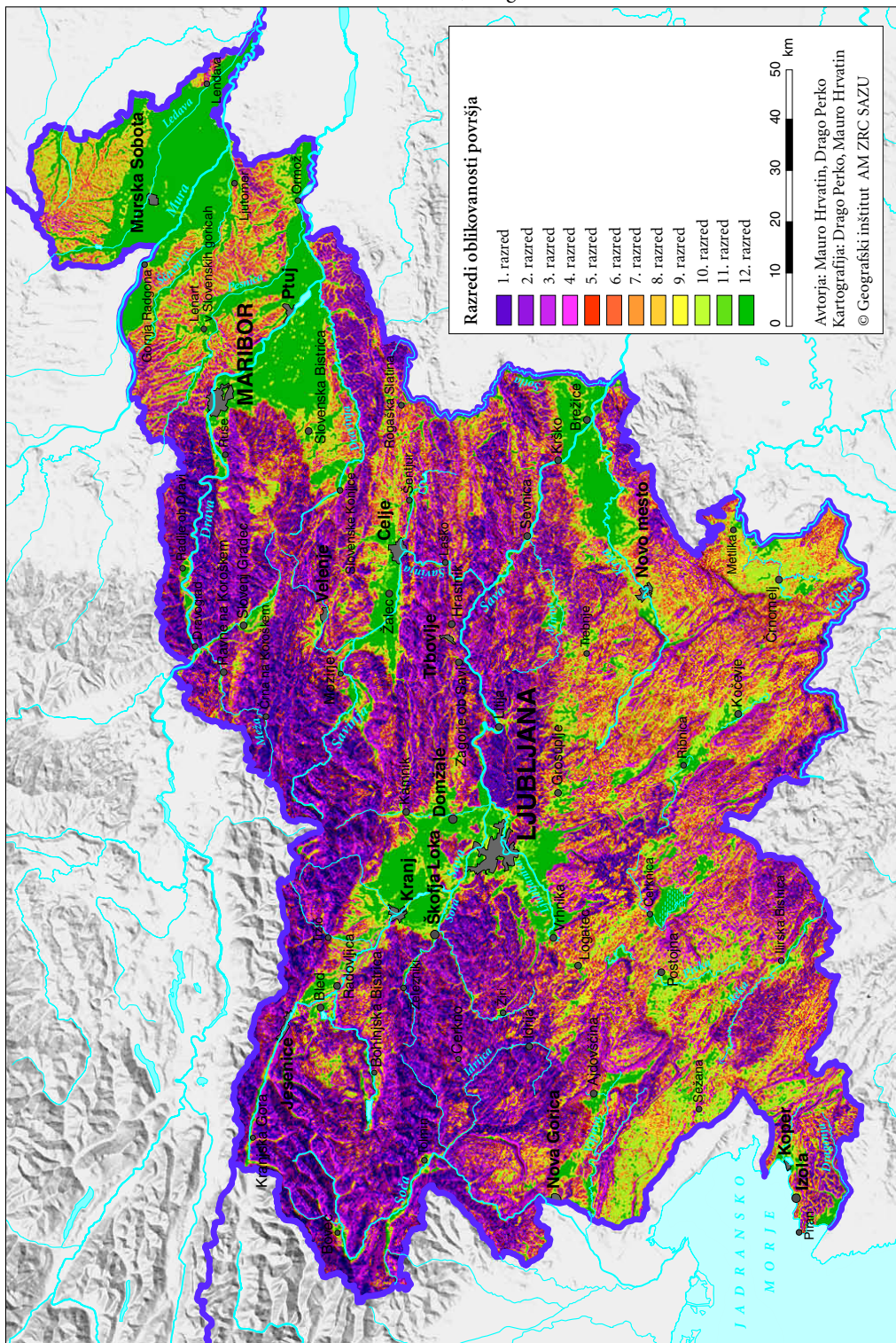
Slika 3: Shematski prikaz postopka hierarhične delitve na 8 in 12 razredov (delitev poteka od zgoraj navzdol (od naklona prek izbočenosti do teksture površja), beli deli so nadpovprečne vrednosti, temni deli pa podpovprečne vrednosti; prvi štiri razredi obeh delitev so enaki).

- površje z nadpovprečnim naklonom, podpovprečno izbočenostjo in nadpovprečno razčlenjenostjo (razred 3),
- površje z nadpovprečnim naklonom, podpovprečno izbočenostjo in podpovprečno razčlenjenostjo (razred 4),
- površje s podpovprečnim naklonom, nadpovprečno izbočenostjo in nadpovprečno razčlenjenostjo (razred 5),
- površje s podpovprečnim naklonom, nadpovprečno izbočenostjo in podpovprečno razčlenjenostjo (razred 6),
- površje s podpovprečnim naklonom, podpovprečno izbočenostjo in nadpovprečno razčlenjenostjo (razred 7) ter
- površje s podpovprečnim naklonom, podpovprečno izbočenostjo in podpovprečno razčlenjenostjo (razred 8).

Pri členitvi površja na 12 razredov je postopek določanja prvih štirih nadpovprečno strmih razredov (razredi od 1 do 4) identičen, kot pri členitvi površja na 8 razredov, preostalo podpovprečno strmo ozemlje pa razčlenimo od začetka po že opisanem postopku hierarhične delitve na 8 razredov (razredi od 5 do 12). Postopek hierarhične delitve je posebej priporočljiv pri členitvah podatkov, ki so razvrščeni neenakomerno oziroma asimetrično. Tovrstni so na primer podatki o višinah in naklonih površja, pri katerih so večje vrednosti običajno vedno bolj redke.

Površje Slovenije smo na temelju izbranih klasifikacijskih kriterijev (naklon površja, krajevna izbočenost površja in tekstura površja) s postopkom hierarhične delitve razčlenili na 12 razredov (slika 4), ki so v nadaljevanju na kratko predstavljene. Za vsak razred smo ugotovili, kje je najbolj značilen in v kateri slovenski mezoregiji se najpogosteje pojavlja. Pri tem smo upoštevali regionalizacijo Geografskega inštituta Antona Melika ZRC SAZU (Kladnik in Perko 2001), ki Slovenijo deli na štiri velike pokrajine oziroma makroregije (Alpe, Panonska kotlina, Dinarsko gorovje in Sredozemlje) in 48 srednjevelikih pokrajin oziroma mezoregij.

Prvi razred vključuje območja z velikim naklonom, visokim deležem izbočenosti in veliko razčlenjenostjo površja. Obsega 11,2 % površja Slovenije in je najbolj značilen v hribovitem svetu iz vododržnih



kamnin v okolici Janč v jugozahodnem Posavskem hribovju. Po slovenskih mezoregijah je najpogosteje zastopan v Halozah (33,3 %), Vzhodnih Karavankah (29,3 %), na Boču in Maclju (27,4 %) ter v Cerkljanskem, Škofjeloškem, Polhograjskem in Rovtarskem hribovju (25,9 %).

Drugi razred vključuje območja z velikim naklonom, visokim deležem izbočenosti in majhno razčlenjenostjo površja. Obsega 11,6 % površja Slovenije in je najbolj značilen v vršnem delu zahodnega Pohorja. Po slovenskih mezoregijah je najpogosteje zastopan na Strojni, Kozjaku in Pohorju (25,2 %), v Kamniško-Savinjskih Alpah (21,0 %), na Gorjancih (20,8 %) ter v Raduljskem hribovju (20,7 %).

Tretji razred vključuje območja z velikim naklonom, nizkim deležem izbočenosti in veliko razčlenjenostjo površja. Obsega 10,0 % površja Slovenije in je najbolj značilen v gorski skupini Škrlatice v Julijskih Alpah. Po slovenskih mezoregijah je najpogosteje zastopan v Halozah (26,6 %), Zahodnih Karavankah (26,3 %), Idrijskem hribovju (25,4 %) ter Vzhodnih Karavankah (24,3 %).

Četrti razred vključuje območja z velikim naklonom, nizkim deležem izbočenosti in majhno razčlenjenostjo površja. Obsega 10,9 % površja Slovenije in je najbolj značilen v številnih tektonsko zasnovanih premočrtnih pobočjih (rebrih), kakršna je na primer reber Stojne nad Kočevskim poljem. Po slovenskih mezoregijah je najpogosteje zastopan na Javornikih in Snežniku (24,4 %), v Julijskih Alpah (21,2 %), na Veliki gori, Stojni in Goteniški gori (20,4 %) ter Kambreškem in Banjšicah (20,3 %).

Peti razred vključuje območja z zmernim naklonom, visokim deležem izbočenosti in veliko razčlenjenostjo površja. Obsega 6,5 % površja Slovenije in je najbolj značilen v vršnem delu planote Jelovice v Julijskih Alpah. Po slovenskih mezoregijah je najpogosteje zastopan v Brkinih (15,1 %), Halozah (12,7 %), Ložniškem in Hudinjskem gričevju (12,4 %) ter Raduljskem hribovju (11,4 %).

Šesti razred vključuje območja z zmernim naklonom, visokim deležem izbočenosti in majhno razčlenjenostjo površja. Obsega 7,8 % površja Slovenije in je najbolj značilen na Korinjski planoti med Dobrepoljem in povirjem Krke. Po slovenskih mezoregijah je najpogosteje zastopan v Suhi krajini (25,2 %), na Mali gori, Kočevskem rogu in Poljanski gori (22,2 %), v Novomeški pokrajini (21,8 %) ter na Gorjancih (19,6 %).

Sedmi razred vključuje območja z zmernim naklonom, nizkim deležem izbočenosti in veliko razčlenjenostjo površja. Obsega 5,6 % površja Slovenije in je najbolj značilen v okolici Virštanja na Kozjanskem. Po slovenskih mezoregijah je najpogosteje zastopan v Voglajnskem in Zgornjesotelskem gričevju (16,8 %), Srednjesotelskem gričevju (15,1 %), Ložniškem in Hudinjskem gričevju (12,4 %) ter na Trnovskem gozdu, Nanosu in Hrušici (9,7 %).

Osmi razred vključuje območja z zmernim naklonom, nizkim deležem izbočenosti in majhno razčlenjenostjo površja. Obsega 7,1 % površja Slovenije in je najbolj značilen v jugovzhodnem delu Goričkega. Po slovenskih mezoregijah je najpogosteje zastopan na Goričkem (31,5 %), v Lendavskih gorcih (22,3 %), Pivškem podolju (17,2 %) ter na Krasu (16,6 %).

Deveti razred vključuje območja z majhnim naklonom, visokim deležem izbočenosti in veliko razčlenjenostjo površja. Obsega 6,1 % površja Slovenije in je najbolj značilen v okolici Metlike v Beli krajini. Po slovenskih mezoregijah je najpogosteje zastopan v Beli krajini (22,1 %), na Podgorskem krasu, Čičarji in Podgrajskem podolju (16,6 %), v Notranjskem podolju (16,0 %) ter Suhi krajini (13,7 %).

Deseti razred vključuje območja z majhnim naklonom, visokim deležem izbočenosti in majhno razčlenjenostjo površja. Obsega 8,1 % površja Slovenije in je najbolj značilen na Komenskem Krasu. Po slovenskih mezoregijah je najpogosteje zastopan na Krasu (34,7 %), v Ribniško-Kočevskem podolju (32,7 %), Beli krajini (26,4 %) ter Pivškem podolju (24,6 %).

Enajsti razred vključuje območja z majhnim naklonom, nizkim deležem izbočenosti in veliko razčlenjenostjo površja. Obsega 3,9 % površja Slovenije in je najbolj značilen na delih Ljubljanskega barja, ki so prepredeni z gosto mrežo odvodnih kanalov. Po slovenskih mezoregijah je najpogosteje zastopan na Ljubljanskem barju (21,7 %), Savinjski ravni (16,3 %), v Ribniško-Kočevskem podolju (15,2 %) ter na Savski ravni (13,8 %).

*Slika 4: Regionalna zvezna delitev površja Slovenije.*

Dvanajsti razred vključuje območja z majhnim naklonom, nizkim deležem izbočenosti in majhno razčlenjenostjo površja. Obsega 11,2 % površja Slovenije in je najbolj značilen na Ravenskem in Dolinskem na Murski ravni. Po slovenskih mezoregijah je najpogosteje zastopan na Murski ravni (93,1 %), Dravski ravni (84,6 %), Krški ravni (68,7 %) ter Savinjski ravni (55,0 %).

## 6 Sklep

Za zvezne delitve površja je značilno, da posamezne dele površja razvrščajo zgolj glede na vrednosti izbranih reliefnih kazalnikov, ne glede na njihovo prostorsko lego. Deli površja torej niso nujno povezani oziroma se ne stikajo in se lahko pojavljajo kjerkoli v obravnavani pokrajini. Zvezna delitev površja je kvantitativna, objektivna in ima veliko analitično vrednost, nezvezna delitev pa je običajno kvalitativna, sloni na strokovnem znanju in ima večjo praktično vrednost, čeprav je bolj subjektivna. Zvezna delitev površja je zato pogosto le prva stopnja za nezvezno delitev površja. Starejše delitve površja v svetu in Sloveniji so bile običajno nezvezne, po uveljavitvi računalnikov in geografskih informacijskih sistemov pa prevladujejo zvezne delitve površja ter kombinacije zveznih in nezveznih delitev površja.

Glede na izbiro vrednosti in mej vrednosti izbranih reliefnih kazalnikov ločimo regionalne in globalne delitve površja. O metodi regionalne delitve površja govorimo, če vrednosti in meje vrednosti prilagodimo posameznemu območju. Njena prednost je, da pri delih površja, ki bi bili po metodi globalne delitve slabo razčlenjeni, prikažemo notranje razlike, kar dosežemo ravno s prilagoditvijo vrednosti in mej vrednosti reliefnih kazalnikov dejanskim razmeram v izbrani pokrajini.

V prispevku smo metodo regionalne zvezne delitve površja, ki sta jo Iwahashi in Pike uporabila za členitev površja Hokaida, Japonske in celotnega sveta, preizkusili z regionalno zvezno delitvijo površja Slovenije. Pri tem smo uporabili iste kriterije: naklon površja, krajevno izbočenost površja in teksturo površja. Spremenili smo le postopek priprave sloja krajevne izbočenosti. Iwahashi in Pike sta krajevno izbočenost površja določala na temelju Laplaceovega filtriranja digitalnega modela višin, mi pa smo uporabili indeks površinske ukrivljenosti. Menimo, da je tak postopek upravičen in smiseln, saj so nas zanimale vse izbočene površine in ne zgolj vrhovi grebenov in slemen, ki jih Laplaceovo filtriranje posebej izpostavi.

Med opaženimi slabostmi pri opravljeni delitvi površja velja izpostaviti predvsem pretirano podobnost drugega in tretjega klasifikacijskega kriterija (delež izbočenega površja in delež razčlenjenega površja), ki se zaradi tega delno podvajata. Tudi Iwahashi in Pike sta poudarila, da površje lepo razčlenita že sloja z nakloni in teksturo površja, sloj s krajevno izbočenostjo površja pa sta dodala predvsem zato, da bi izpostavila nekatere drobne, vendar pomembne razlike v površju; na primer za ločitev izbočenih vršajev od ravnih obrečnih ravnin.

Kot zanimiva in uporabna popestritev postopka klasifikacije se izkazala hierarhična delitev na temelju vrednosti aritmetičnih sredin posameznih slojev. Njena slabost je sicer v tem, da smo vnaprej omejeni z določenim številom razredov (v našem primeru 8, 12 ali 16), vendar je sam postopek objektivni in enostaven.

Izbrana členitev površja Slovenije na 12 razredov se je izkazala kot povsem ustrezna. Nadaljnja členitev, na primer na 16 razredov, bi samo dodatno razdrobila malo obsežne in razmeroma homogene razrede (razredi od 9 do 12). Ugotovljeni razredi so uporabni za razumevanje zvez med izoblikovanostjo površja, geomorfnimi procesi in kamninsko sestavo.

## 7 Viri in literatura

- Blaszczynski, J. S. 1997: Landform characterization with geographic information systems. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 63. Falls Church.
- Digitalni model višin 25. Geodetska uprava Republike Slovenije. Zbirka podatkov. Ljubljana, 2005.
- Eastman, J. R. 1995: IDRISI for Windows. User's Guide. Worcester.
- Gabrovec, M., Hrvatin, M. 1998: Površje. Geografski atlas Slovenije. Ljubljana.
- Hammond, E. H. 1964: Analysis of properties in landform geography: An application to broadscale landform mapping. Annals of the Association of American Geographers, 54. Washington.
- Horn, B. K. P., 1981: Hill shading and the reflectance map. Proceedings of the IEEE 69-1, Los Alamitos.
- Hrvatin, M., Perko, D. 2002: Ugotavljanje ukrivljenosti površja z digitalnim modelom višin in njena uporabnost v geomorfologiji. Geografski informacijski sistemi 2001–2002. Ljubljana.
- Hrvatin, M., Perko, D. 2003: Gozdno rastje in morfometrične značilnosti površja v Sloveniji. Geografski vestnik 75-2. Ljubljana.
- Hrvatin, M., Perko, D. 2005: Differences between 100-m and 25-m digital elevation models according to relief types in Slovenia. Acta geographica Slovenica 45-1. Ljubljana.
- Hrvatin, M., Perko, D. 2009: Suitability of Hammond's method for determining landform units in Slovenia. Acta geographica Slovenica 49-2. Ljubljana.
- Iwahashi, J., Pike, R. J. 2007: Automated classifications of topography from DEM's by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature. Geomorphology 86-3-4. New York.
- Kladnik, D., Perko, D. 2001: Nova regionalizacija Slovenije. Slovenija – pokrajine in ljudje. Ljubljana.
- Lindsay, J. B. 2005: The Terrain Analysis System: a tool for hydro-geomorphic applications. Hydrological processes 19. Chichester.
- McCoy, J., Johnston, K. 2001: Using ArcGIS Spatial Analyst. Redlands.
- Melik, A. 1935: Slovenija. Geografski opis. Ljubljana.
- Natek, K. 1993: Tipi površja v Sloveniji 1. Geografski obzornik 40-4. Ljubljana.
- Perko, D. 1992: Zveze med reliefom in gibanjem prebivalstva 1880–1981 v Sloveniji. Doktorska disertacija. Ljubljana.
- Perko, D. 1998: The regionalization of Slovenia. Geografski zbornik 38. Ljubljana.
- Perko, D. 2001: Analiza površja Slovenije s stometrskim digitalnim modelom reliefa. Geografija Slovenije 3. Ljubljana.
- Perko, D. 2007: Morfometrija površja Slovenije. Georitem 3. Ljubljana.
- Perko, D., Hrvatin, M. 2009: Določanje enot oblikovanosti površja v Sloveniji s prirejeno Hammondovo metodo. Geografski vestnik 81-2. Ljubljana.
- Podobnikar, T. 2002: Koncept izdelave novega digitalnega modela reliefa Slovenije. Geografski vestnik 74-1. Ljubljana.
- Podobnikar, T. 2005: Production of integrated digital terrain model from multiple datasets of different quality. International Journal of Geographical Information Science 19-1. London.
- Podobnikar, T. 2006: Digitalni model reliefa iz različnih podatkov. Življenje in tehnika 57-4. Ljubljana.
- Podobnikar, T., Možina, P. 2008: Analiza oblik površja z uporabo lokalnega okna. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008. Ljubljana.
- Scripter, M. W. 1970: Nested-means map classes for statistical maps. Annals of the Association of American Geographers 60. Washington.





## UPORABA DELEŽA VIDNEGA NEBA ZA VIZUALIZACIJO RELIEFA

**dr. Klemen Zakšek**

*Institute of Geophysics, University of Hamburg, Nemčija*  
klemen.zaksek@zmaw.de

**dr. Žiga Kokalj, dr. Kristof Oštir**

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

UDK: 528.9:551.43

### IZVLEČEK

#### **Uporaba deleža vidnega neba za vizualizacijo reliefa**

*Analitično senčenje je najpogostejši način prikaza reliefa. Tovrstno senčenje temelji na neposredni osvetlitvi, kar omogoča uporabniku intuitivno prepoznavanje izoblikovanosti reliefa. Vendar se pojavijo težave pri interpretaciji teles, ki se raztezajo v smeri vira svetlobe, interpretacija rezultatov pa je nemogoča tudi v temnih sencah. V prispevku predstavljamo alternativno metodo prikaza reliefa, ki temelji na razpršeni osvetlitvi. Razpršena osvetljenost površja je (premo)sorazmerna z deležem vidnega neba, zato je slednji kot metoda vizualizacije reliefa zelo primeren.*

### KLJUČNE BESEDE

*vizualizacija, razpršena osvetlitev, delež vidnega neba, digitalni model višin*

### ABSTRACT

#### **Application of sky-view factor for relief visualization**

*Analytical hill-shading is the most frequently used relief visualization technique. In its most commonly used form it is based on the direct illumination that makes possible to intuitively recognize relief features. Its interpretation is, however, difficult in areas parallel to the illumination light direction. Furthermore, the interpretation may be impossible in deep shades. We are proposing a new relief visualisation technique based on diffuse illumination. The diffuse illumination is (linearly) correlated to the sky-view factor that can be used to efficiently visualize the relief.*

### KEY WORDS

*visualization, diffuse illumination, sky-view factor, digital elevation model*

## 1 Uvod

Podatki o reliefu so nepogrešljivi v sodobnih geografskih informacijskih sistemih. Najpogosteje so zapisani v obliki digitalnega modela višin (DMV), ki ga uporabimo v modeliranju, analizah ali prikazih. Ne glede na široko uporabnost je DMV nujno učinkovito prikazati, saj lahko le tako zagotovimo ustrezno interpretacijo rezultatov. Človek lahko obliko telesa in razmerja med njimi prepozna na podlagi različnih znamenj (Horn 1981), med katerimi so najbolj učinkovite sence. Kljub mnogim opisom naprednih prikazov reliefa (obravnavanih tudi v zborniku prejšnjega simpozija; Kokalj s sodelavci 2008), ostaja analitično senčenje ena najpogostejših metod.

Analitično senčenje je v nasprotju s splošnim prepričanjem dokaj splošen termin – pomeni namreč le računalniško podprto izdelavo senčenega reliefa iz DMV. Tehnike analitičnega senčenja je razvijalo več avtorjev, npr. Minnaert (1961), Batson s sodelavci (1975), Phong (1975), Blinn (1977) itd. Kot standard se je uveljavila metoda, ki jo je razvil Yoëli (1965) in pri kateri je vrednost sivine sorazmerna kosinusu vpadnega kota žarka neposredne osvetlitve reliefa. Gre za kot med smerjo proti viru svetlobe in pravokotnico na ploskev reliefa. Tako so območja pravokotna glede na žarek iz navideznega svetlobnega vira bela, območja z vpadnim kotom osvetlitve  $90^\circ$  ali več, pa so v popolni senci in so črna, medtem ko so območja z vpadnim kotom med  $0^\circ$  in  $90^\circ$  so prikazana z ustreznim sivim tonom.

Ne glede na intuitivno rabo senčenega reliefa, se moramo zavedati tudi pomanjkljivosti metode. Kadar imamo npr. telo, ki se razteza v enaki smeri kot žarki iz navideznega svetlobnega vira, so detajli nerazpoznavni. Do težav pri interpretaciji pride tudi, kadar leži območje v globoki senci. Pobočja z naklonom  $30^\circ$  ali več so, kadar so obrnjena stran od vira osvetlitve, že tako temna, da je interpretacija detajlov nemogoča.

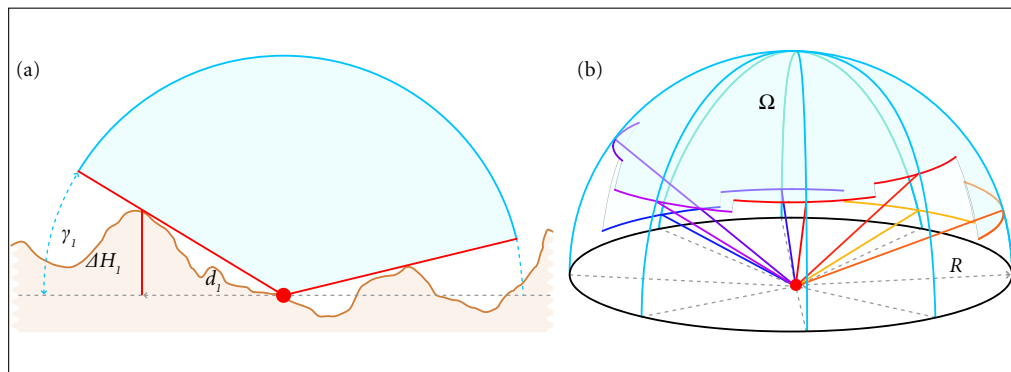
V preteklosti je bilo razvitih kar nekaj nadgradenj standardnega analitičnega senčenja, ki pa niso prinesle univerzalne rešitve. Zato smo v opravljeni študiji uporabili popolnoma drugačen pristop pri vizualizaciji reliefa – namesto neposredne smo uporabili razpršeno osvetlitev. V naslednjem poglavju je opisano teoretično ozadje. Sledijo primeri prikazov za podatke različnih ločljivosti, ki jih primerjamo s standardnim analitičnim senčenjem. V sklepu poudarimo v katerih primerih je uporaba nove metode bolj smiselna kot uporaba analitičnega senčenja.

## 2 Definicija deleža vidnega neba

Izračun razpršene osvetlitve reliefa na osnovi deleža vidnega neba je podrobno opisan v članku Oštirja s sodelavci (2010). V tem prispevku le povzemamo teoretično ozadje metode. Vir svetlobe v našem primeru ni neskončno oddaljena točka kot pri analitičnem senčenju, temveč nebesna polobla, ki je po vsej svoji površini enakomerno svetla. Predvidevamo, da ploskev reliefa odbija svetlobo enakomerno v vse strani. Na osvetljenost potem vpliva sama oblika reliefa – na ravnini je poljubna ploskev bolj osvetljena kot v ozki dolini s temnimi pobočji, saj prihaja svetloba iz neba, tega pa je na odprtem prostoru videti neprimerno več. Ker je osvetlitev izotropna – neodvisna od smeri, se vpliv oblike reliefa kaže v deležu vidnega neba, ki pove, koliko celotne nebesne poloble je vidne nad poljubno točko (slika 1). Delež vidnega neba lahko podamo z enačbo:

$$\text{SVF} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \sin \gamma_i}{n},$$

kjer SVF predstavlja delež vidnega neba (angleško *sky-view factor*),  $\gamma_i$  je višinski kot obzorja v izbrani smeri in  $n$  število smeri v katerih iščemo obzorje. Tako definiran delež vidnega neba predstavlja povr-



Slika 1: Shematska predstavitev deleža vidnega neba – gre za prostorski kot  $\Omega$ , ki ga iščemo do izbranega polmera  $R$  daleč (prerez skozi nebesno polkroglo na levi strani). Desna stran slike prikazuje, nato določimo višinski kot obzorja  $\gamma_i$  na podlagi višinske razlike  $\Delta H_i$  in razdalje od stojišča do obzorja  $d_i$ . Na desni strani slike je prikazan nato izračun deleža vidnega neba  $\Omega$  v  $n$  smereh iz pripadajočih višinskih kotov obzorja, ki definirajo površino krogelne ploskve nad horizontom.

šino vidnega dela nebesne polkrogle normirano z njeno celotno površino (slika 1). Razpon vrednosti deleža vidnega neba je med 0 (popolnoma zakrito nebo) in 1 (horizont je enak matematičnemu horizontu).

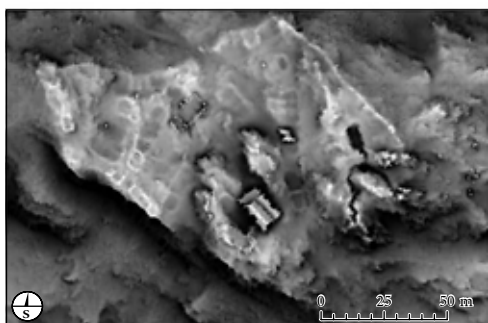
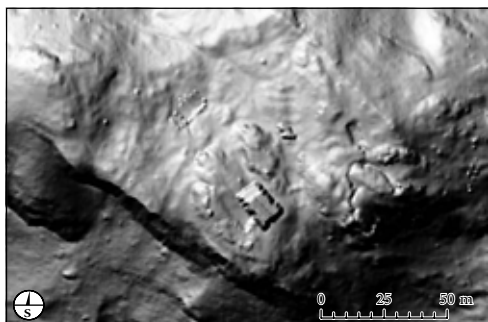
Delež vidnega neba ima velik vpliv na razpršeno osončenost – večji kot je, več osončenosti lahko prejme izbrana površina. Pomemben je tudi pri ohlajanju – večji kot je, več toplote lahko telo izseva in bolj se ohladi.

Število smeri iskanja horizonta ima majhen vpliv na rezultate. Ustrezno predstavitev reliefa dobimo že, če uporabimo relativno malo smeri, recimo 8. Analize so pokazale, da ni smiselno uporabiti več kot 32 smeri iskanja horizonta (dokler je polmer iskanja manjši od 100 celic). Na prikaz mnogo močnejše vpliva polmer iskanja horizonta – tega namreč ni potrebno iskati v neskončnost, s čimer bi dobili pravi horizont, ki je pomemben, na primer, pri študijah sončnega obseva. Za vizualizacijo je uporabljen polmer, ki je velik le nekaj slikovnih elementov (celic) vhodnega DMV. Na ta način bolj poudarimo lokalne strukture, s polmerom nekaj deset celic pa lahko prikazemo strukture regionalnega pomena.

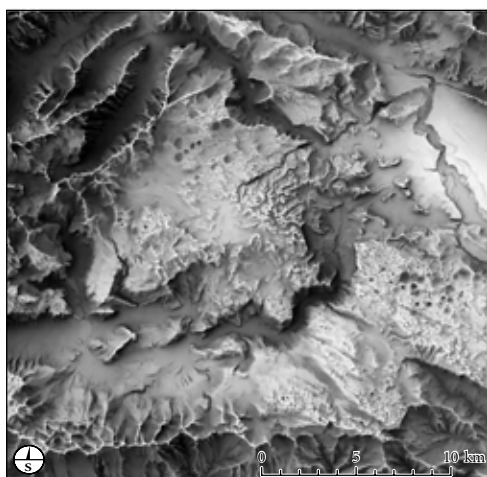
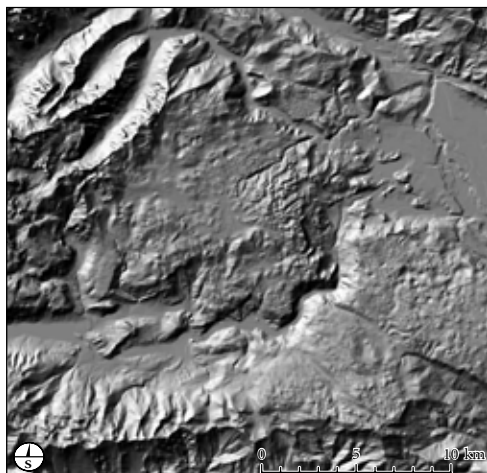
### 3 Primeri vizualizacije

Opisano metodo smo razvili v programskem jeziku IDL (medmrežje). Hitrost izračuna deleža vidnega neba je primerljiva s hitrostjo analitičnega senčenja v standardnih programih GIS. Na osebnem računalniku (procesor 2 GHz, 1 GB RAM, MS Windows Vista) je trajal izračun deleža vidnega neba za DMV velikosti 1000 celic krat 1000 celic, v 8 smereh, pri polmeru iskanja horizonta 20 celic daleč, 7 s. V nadaljevanju so prikazani in opisani izbrani primeri uporabe deleža vidnega neba za prikaz reliefa. Vse smo primerjali s standardnim analitičnim senčenjem.

Slika 2 prikazuje arheološko najdišče Tonovcov grad pri Kobaridu. Zgoraj je analitično senčenje, na katerem lahko razpoznamo le malo objektov. Spodaj je isto območje prikazano z deležem vidnega neba. Na tem delu slike lahko v obliki belih grebenov prepoznamo tudi ostanke stavbnih zidov, ki jih je zaradi zelo majhnih višinskih razlik z analitičnim senčenjem težko prikazati, saj na območju razvalin ni ostrih robov. Delež vidnega neba ni odvisen od ostrih robov, saj primerja višino vsake točke tudi z bolj oddaljenimi točkami, zato lahko kljub majhnim višinskim razlikam predstavi detajlno obliko reliefa.



Slika 2: Arheološko najdišče Tonovcov grad; analitično senčenje zgoraj in delež vidnega neba spodaj (vir podatkov: Fundacija Poti miru v Posočju, ločljivost 0,5 m, polmer 5 m, 32 smeri).



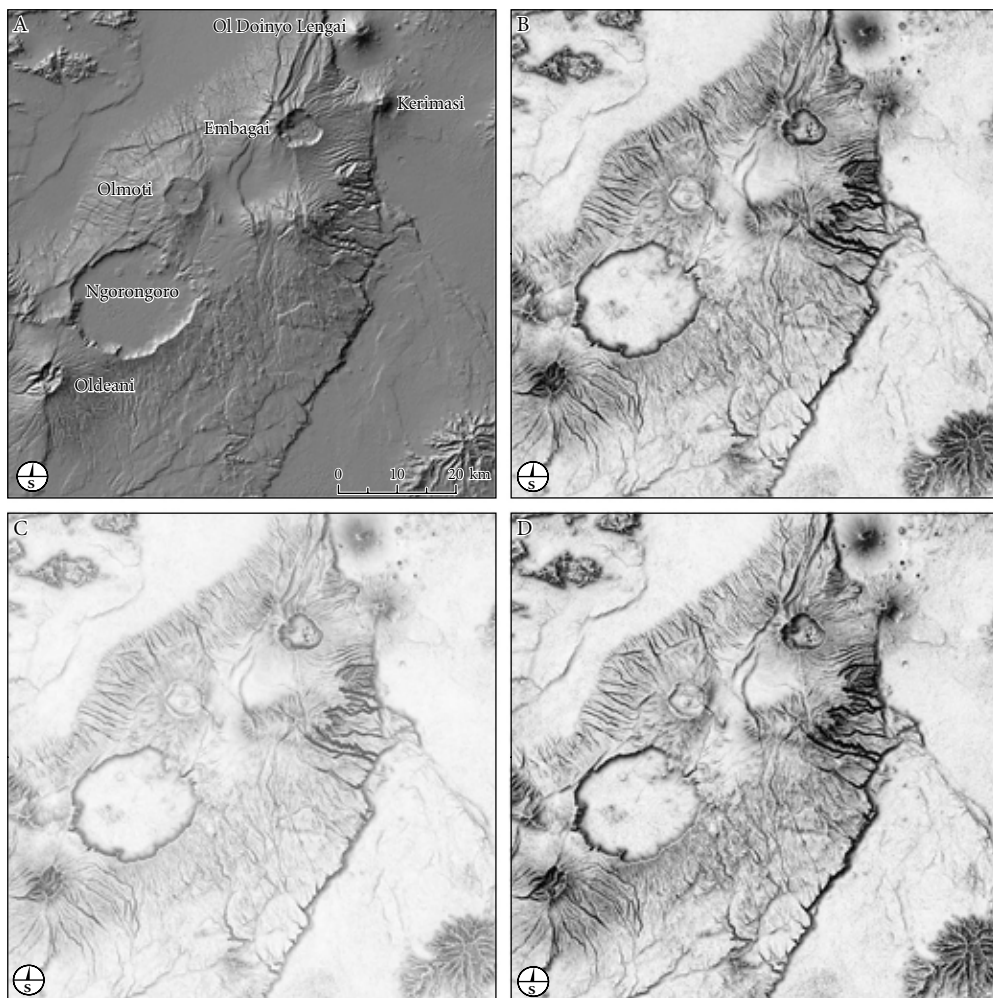
Slika 3: Relief na območju vzhodnih Julijskih Alp; analitično senčenje zgoraj in delež vidnega neba spodaj (vir podatkov: GU RS DMV 12,5, ločljivost 50 m, polmer 3000 m, 16 smeri).

V zelo razgibanih regijah, na primer v Alpah (slika 3), kjer je veliko globokih in strmih dolin, so na sliki deleža vidnega neba običajno kot bele črte obarvani le vrhovi in grebeni, večina nižje ležečih območij pa je temnih. Analitično senčenje v tem primeru deluje bolje, saj da bolj kontrastno podobo. Boljši prikaz lahko dosežemo s kvadriranjem deleža vidnega neba, kar učinkuje predvsem na najtemnejša območja, saj jim s popravkom močno raztegnemo razpon vrednosti in s tem izboljšamo berljivost rezultatov. Druga možnost pa je sorazmerno majhen polmer iskanja horizonta. Na ta način so prikazani bolje tudi lokalni detajli, medtem ko so regionalne strukture neizrazite.

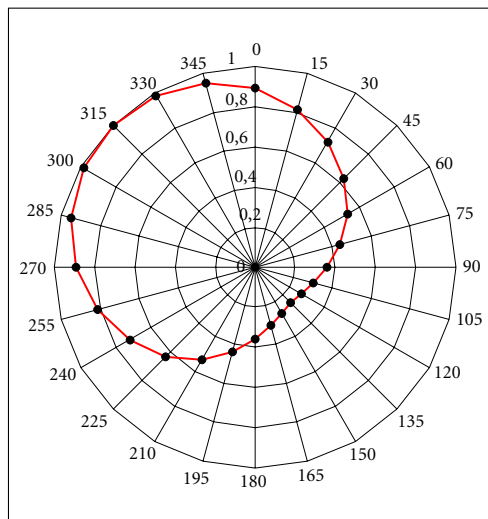
Zanimiv je tudi primer ognjeniškega polja v Tanzaniji (slika 4). Na gornjem robu območja leži Ol Doinyo Lengai, ognjenik, za katerega obstajajo pričevanja o aktivnostih od 19. stoletja dalje, nazadnje pa je izbruhnil leta 2007. Ognjenik je edini v svetu, ki ne bruha lave na osnovi silikatnih mineralov ampak natrokarbonatno lavo, ki je dokaj hladna (500–600 °C). Na sredi slike 4 leži tudi kaldera Ngorongoro, katere okolica je znan rezervat. Ker delež vidnega neba ne ustvarja tako plastičnega občutka kot klasično analitično senčenje, smo se odločili obtežiti delež vidnega neba po smereh. Pri tem predpostavljamo, da prihaja več svetlobe iz ene smeri, zato je učinek bolj plastičen in rezultati bolj intuitivni za uporabo. Obtežen delež vidnega neba izračunamo z enačbo:

$$SVF' = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \sin \gamma_i \cdot \frac{3 \cdot \cos^2(\alpha_i - \alpha_0) + 1}{4}}{n}$$

Kjer je  $\alpha_i$  ena izmed  $n$  smeri iskanja horizonta,  $\alpha_0$  pa smer, v kateri je delež vidnega neba nezmanjšan. Vse druge smeri imajo zato manjši vpliv, kar posledično vodi v večjo plastičnost rezultatov. Za utež je zelo priročno uporabiti kotne funkcije (kosinus v danem primeru). Da pride vsaj nekaj svetlobe iz



Slika 4: Zaščiteno območje Ngorongoro in ognjenik Ol Doinyo Lengai z okolico (Tanzanija). V tem primeru primerjamo analitično senčenje (A – levo zgoraj; dodana imena vulkanov), kombinacijo deleža vidnega neba z analitičnim senčenjem (B – levo spodaj), navaden delež vidnega neba (C – desno zgoraj) in obtežen delež vidnega neba (D – desno spodaj), medtem ko sta predstavitvi A in B premalo kontrastni, obtežen delež vidnega neba (D) ohranja visok kontrast, poleg tega pa je prikaz bolj plastičen in intuitiven za interpretacijo kot navadna različica. Vir podatkov: ASTER Global DEM, ločljivost 30 m, polmer 600 m, 24 smeri.



Slika 5: Porazdelitev uteži po smereh, kot so bile uporabljene za obtežen delež vidnega neba na sliki 4 desno spodaj. Tri četrtine uteži pripada kosinusni funkciji, četrtina pa je neodvisna od smeri.

vseh smeri, je v danem primeru kosinusu dodana konstanta – tako je četrtina uteži neodvisna od smeri, tri četrtine pa od kosinusne funkcije. V danem primeru je začetni azimut  $315^\circ$ , ki je standardno uporabljen tudi pri analitičnemu senčenju (slika 5). Horizont smo iskali v 24 smereh, radij iskanja pa je bil 20 celic, pri ločljivosti DMV 30 m. Rezultati so bolj intuitivni za interpretacijo kot pri običajno izračunanem deležu vidnega neba, vendar ohranjajo najpomembnejše prednosti pred standardnim analitičnim senčenjem. V nadaljnjih raziskavah bo treba ugotoviti način optimiranja uteži. Za primerjavo smo na isti sliki prikazali tudi navaden delež vidnega neba in kombinacijo deleža vidnega neba z analitičnim senčenjem.

## 4 Sklep

V prispevku smo pokazali, da lahko z deležem vidnega neba nazorno prikažemo obliko reliefa. Metoda je še posebej primerna za manj razgibana območja, kjer so rezultati veliko bolj kontrastni kot pri analitičnem senčenju. Vzroke za to gre iskati v dejstvu, da analitično senčenje sloni le na štirih sosednjih celicah, medtem ko pri deležu vidnega neba določamo, kakšna je vloga posamezne celice na širšo okolico (parameter vizualizacije je število smeri in radij iskanja horizonta). Analitično senčenje odlično prikaže ostre robove, odpove pa na območjih, kjer takih robov ni. V tem primeru delež vidnega neba bolj prepričljivo ponazori obliko reliefa. Na zelo razgibanih območjih pa je treba delež vidnega neba uporabiti pazljivo. Na goratem območju, na primer, se lahko zelo hitro zgodi, da so vse doline skoraj popolnoma temne. V tem primeru moramo pazljivo nastaviti spodnjo mejo intervala prikaza, ali pa popraviti izračunane rezultate, denimo s kvadriranjem. Prikaz reliefa z deležem vidnega neba ni tako intuitiven kot z analitičnim senčenjem, zato je oba prikaza smiselno kombinirati. V prihodnosti bomo namenili več pozornosti obteženemu deležu vidnega neba, saj predvidevamo, da bomo s to izboljšavo pridobili prednosti obeh obravnavanih metod.

## 5 Viri in literatura

- Batson, R., Edwards, E., Eliason, E. 1975: Computer Generated Shaded Relief Images. Journal of Research of the U. S. Geological Survey. Washington.
- Blinn, J. F. 1977: Models of light reflection for computer synthesized pictures. SIGGRAPH Comput. Graph. New York.
- Horn, B. 1981: Hill shading and the reflectance map. Proceedings of the IEEE.
- Kokalj, Ž., Zakšek, K., Oštir, K. 2008: Uporaba laserskega skeniranja za opazovanje preteklih pokrajin – primer okolice Kobarida. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008. Ljubljana. Medmrežje: <http://www.itt.com> (18. 2. 2010).
- Minnaert, M. 1961: Photometry of the Moon. Planets and Satellites. Chicago.
- Oštir, K., Kokalj, Ž., Zakšek, K. 2010: Sky-view Factor as a Terrain Visualization Technique. International Journal of Geographical Information Science (v pregledu).
- Phong, B. T. 1975: Illumination for Computer Generated Pictures. Communications of the ACM. Oxford.
- Yoëli, P. 1965: Analytische Schattierung. Ein kartographischer Entwurf. Kartographische Nachrichten. Bonn.





## GIS MODELIRANJE PREHODNOSTI TERENA ZA POTREBE SLOVENSKE VOJSKE

**dr. Borut Vrščaj, mag. Tone Godeša**

Kmetijski inštitut Slovenije

borut.vrscaj@kis.si, tone.godesa@kis.si

UDK: 659.2:004:91(497.4)

631.4:355(497.4)

### IZVLEČEK

#### **GIS modeliranje prehodnosti terena za potrebe slovenske vojske**

Informacija o prehodnosti tal, zemljišč oziroma terena je ključna za aktivnosti v času naravnih nesreč in vojaških operacij. Informacija o možnostih prehodnosti terena je odvisna predvsem od lastnosti tal, reliefnih značilnosti ter od sestave (vojaških) enot oziroma tehničnih lastnosti vozil. Sodobne GIS tehnologije ponujajo možnost dobre ocene lastnosti prostora za možnosti premikov vozil zunaj cestnišča ter možnost vizualizacije bojišča. Projekt »Informacijska podpora pri odločanju z vidika prehodnosti terena« (i-PREHOD) je izveden v več sklopih. Tu predstavljamo vsebine »Zajem in obdelava pedoloških podatkov« ter del »Izdelava aplikacije i-PREHOD«, ki zajema izdelavo večnivojskega GIS modela ocene prehodnosti terena za vozila. Model je bistven del ArcMAP aplikacije za vizualizacijo prehodnosti terena za (vojaška) vozila. Projekt predstavlja razvoj programskih orodij in informacijskih sistemov za vizualizacijo bojišča in omogoča oceno možnosti prehoda vojaških enot v ArcGIS okolju. Projekt so za Ministrstvo za obrambo Republike Slovenije izvajali CGS plus, Geološki zavod Slovenije in Kmetijski inštitut Slovenije.

### KLJUČNE BESEDE

prehodnost, tla, pedološka karta, vojaški premiki, modeliranje, ArcGIS

### ABSTRACT

#### **GIS modelling of terrain trafficability for the Slovenian Army needs**

Information about the soil and terrain accessibility is key information for activities and operations of armed forces. Beside military operations, land accessibility information for vehicles is essential also in cases of natural disasters. GIS technologies based on modelling and various environmental properties data offer assessment of off-road trafficability of terrain and at the same time visualisation of a battle field. The »i-PREHOD« project was organised in five segments. Here some results of »Collection and analysis of soil data« and the »i-PREHOD application« are presented. The latter comprehends the elaboration of the multilayered GIS model assessment of terrain trafficability. The model represent a basic part of the ArcMAP application for visualisation of the off-road trafficability for (military) vehicles. Project represents the development of GIS tools and information system for potential battle field visualization and determination of possible pathways. Project was financed by Ministry of Defence of the Republic of Slovenia and conducted by CGS plus, Geological Survey of Slovenia and Agricultural Institute of Slovenia.

### KEY WORDS

accessibility, soil, soil map, troops movements, modelling, ArcGIS

## 1 Uvod

Prehodnost terena za vozila omejuje sposobnost tal za prenašanje sil, ki jih povzročajo kolesa teh vozil, in značilnosti reliefa. Na stiku kolesa s podlago se soočita dva sistema, in sicer vozilo in tla v prostoru. Značilnosti se s časom in lokacijo spreminjajo, nekatere od njih pa so medsebojno soodvisne. Dogajanje na stiku kolesa vozila in tal ima odločujoč vpliv na sposobnost prehoda vozila.

Za napovedovanje prehodnosti terena za vozila je razvitih več bolj ali manj kompleksnih modelov za različne skupine vozil, ki se gibljejo zunaj utrjenih poti. Najbolj podrobno so obravnavana vojaška vozila, sledijo pa jim kmetijska in gozdarska vozila. Za določitev sposobnosti vozil in strojev ter interakcije vozila in podlage je treba v prvi vrsti dobro poznati mehanske lastnosti površine tal, karakteristike vozila in geometrije prostora.

Karakteristike vozil, ki vplivajo na prehodnost terena, so statične veličine, ki jih lahko izmerimo ali izračunamo. Nosilnost tal je spremenljiva in odvisna od mnogih dejavnikov (Bekker 1968). Za ustrezno napovedovanje sposobnosti prehoda vozil je treba poznati karakteristike terena na predvideni trasi prehoda (Richmond s sodelavci 2005; Saarilahti 2002; Vong s sodelavci 1999; Wong s sodelavci 1989). Ena glavnih značilnosti pri napovedovanju prehodnosti vozil je nosilnost oziroma trdnost tal, ki je povezana z lastnostmi tal, reliefa in fazo rabe tal ter trenutnim stanjem vlažnosti (Albert s sodelavci 2000; Brikel 2003; Saarilahti 2002). V uporabi so trije načini določanja tistih mehanskih lastnosti tal, ki so povezane z mobilno sposobnostjo vozil: metoda penetrometra, metoda bevametra in metode gradbene mehanike tal (Saarilahti 2002; Wong s sodelavci 1989).

Na podlagi parametrov vozila in mehanskih lastnosti tal lahko bolj ali manj natančno napovemo naslednje karakteristike prehodnosti vozila: kotalni upor, zdrs koles, vlečno silo, ugrezanje koles, globino kolesnic, število prehodov koles oziroma vozil, zbijanje tal, nazivni tlak na stični ploskvi kolesa s tlemi, indeks tlaka na stični ploskvi, mejni specifični odpor tal, kolesno število, vrtilni moment na pogonskih kolesih, obodno silo na pogonskih kolesih. Teoretično najboljše predvidimo prehodnost in vlečne karakteristike vozil z analizo meritev mehanskih lastnosti tal na obravnavani lokaciji tik pred prehodom. Vendar je večina lastnosti tal, ki vplivajo na prehodnost, vezana na lokacijo (tip tal, naklon, relief, ovire ...), zato lahko izdelamo GIS baze podatkov vplivnih lastnosti tal in prostora in jih umeštimo v GIS model za oceno zmožnost premikanja (vojaških) vozil v prostoru.

Variabilnost pogojev v času in prostoru narekuje poenostavitve in posplošitve teoretičnih modelov prehodnosti tal in zemljišč do mere izvedljivosti z vidika zbiranja in obdelave tehničnih podatkov vozil, kakovosti in detajlnosti geokodiranih podatkov tal in prostora ter razpoložljivo programsko in strojno opremo.

V prispevku predstavljamo GIS model napovedovanja prehodnosti tal za vojaška vozila v prostoru Slovenije, ki smo ga v projektu iPREHOD razvili na Kmetijskem inštitutu Slovenije za slovensko vojsko kot operativni modul ArcMAP aplikacije iPREHOD.

## 2 Materiali in metode

### 2.1 GIS programsko okolje modela prehodnosti terena za vozila

GIS model prehodnosti terena za vozila (GMOPTV) je zbirka programske kode, izdelan v ESRI AML programskem jeziku in ga je možno izvajati v ArcWorkstation ukaznem oknu ali celovito integrirati v ArcMAP aplikacijo. AML okolje je stabilno in dodobra preizkušeno, predvsem bistveno hitreje od ArcGIS Toolbox verzije aplikacije. Hkrati omogoča popolno integracijo v ArcGIS. Zato smo GMOPTV razvili kot samostojno AML programsko kodo, ki se jo poganja parametrično. Pri načrtovanju modela smo opredelili naslednje bistvene funkcionalnosti:

- kakovosten izračun ocene težavnosti prehoda tal za vozila glede na interpretirane podatke tal, tehnične podatke vozil in terena;

- ustrezna hitrost izvajanja izračunov;
- parametrično pomikanje izreza prostora (*mapextent*) in s tem izračuna prehodnosti po celotnem obsegu podatkov;
- nivojska obravnava podatkov glede na kakovost s ponazoritvijo nivoja natančnosti ocen;
- zvezno obravnavo območij s podatki različnih natančnosti.

## 2.2 Podatki za model prehodnosti terena za vozila

GMOPTV zahteva prostorsko opredeljene podatke (ESRI grid) in konstante. Spremenljivke, ki opredeljuje tehnične lastnosti posameznega vozila so zbrane in vzdrževane v bazi podatkov vozil. GMOPTV poženemo parametrično s 13 podatki vozila: oznaka vozila, tlak v pnevmatiki (kPa), podana sila kolesa na tla (kN), skupna masa/teža vozila (t), deformacija pnevmatike (m), premer pnevmatike (m), povprečna širina pnevmatike (m), višina pnevmatike (m), nazivna moč (kW), število osi, število pogonskih osi, največji vzdolžni vzpon (°), največji prečni nagib (°), globina brodenja (m), naziv vozila. Kot parameter GMOPTV so podane še mejne koordinate območja modeliranja ter korekcijski faktor pri izračunu globine kolesnic, v razponu od 0,8 do 1,2.

Model GMOPTV je zasnovan tako, da obdela podatke specifičnega upora tal – cone index (Ci), digitalnega modela višin (DMV) in rabe zemljišč (Raba) v dveh GIS zbirkah podatkov (skupno šest ESRI gridov):

- Set A vsebuje podatke večje natančnosti tako v vsebinskem, položajnem in geometričnem pomenu. Za Ci A – Cone Index večje natančnosti je vir podatkov natančnejša pedološka karta (MKGP in CPVO 2001). Ci vrednosti (kPa) so merjene, statistično ali ekspertno ovrednotene za vsak talni tip posebej in nato ovrednotena za posamezne kartografske enote digitalne karte tal. Vhodni podatek za model prehodnosti tal je grid ločljivosti 12,5 m. Digitalni model višin večje ločljivosti DMV A je 12,5 m grid območja Slovenije (GURS 2005). Grid Raba tal A (12,5 m) je sloj rabe zemljišč večje natančnosti.
- Set B vsebuje podatke manjše natančnosti. Ci B je Cone Index manjše natančnosti in pokriva širše področje zunaj meja Slovenije (Pedološka karta Evrope 1 : 1.000.000). Za DMV B smo uporabili SRTM90 (NASA 2003). Grid Raba tal B je sloj rabe zemljišč srednje natančnosti (Corine Land Cover merila 1 : 100.000).

## 3 Rezultati

### 3.1 GIS model za oceno prehodnosti terena za vozilo

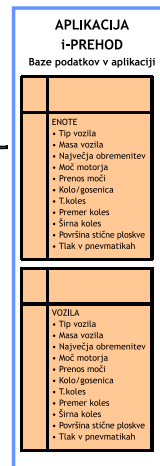
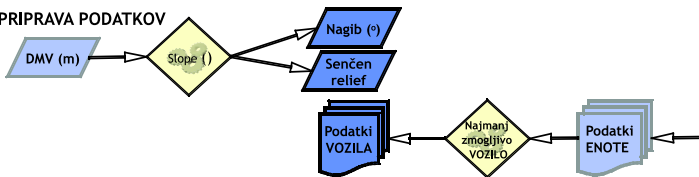
Rezultat je model GMOPTV, ki uporablja podatke iz DMV A in DMV B gridov. Zasnovan je modularno iz štirih bistvenih sklopov: predpriprava podatkov, izračun prehodnosti tal za vozila, izračun prehodnosti terena in modifikacija rezultatov za izračun poti/koridorja (slika 1).

Posamezni sklopi obravnavajo/izvedejo naslednje naloge:

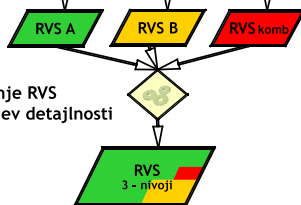
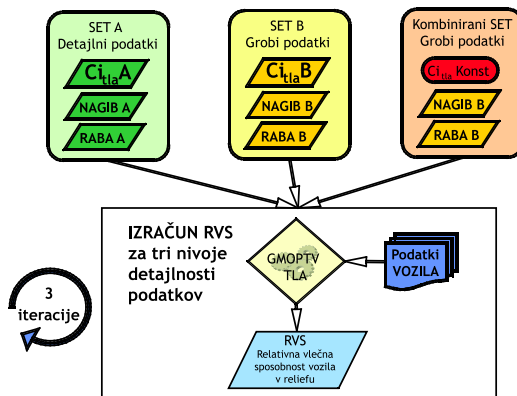
- Predpriprava podatkov zajema izdelavo senčenega reliefa celotnega območja podatkov. Rezultat je združen senčen relief celotnega območja, ki služi uporabniku aplikacije za vizualizacijo podatkov in kot podlago za izdelavo kart. Slika 2 prikazuje združen senčen relief, ki je izdelan iz DMV A (območje Slovenije) in DMV B (SRTM del Avstrije, Madžarske in Hrvaške). Kvadrant na območju Šentilja označuje primer čezmejnega okna modeliranja. V tem modulu so obdelani tudi tehnični podatki vozil ter na podlagi vplivnih kriterijev določeno najmanj sposobno vozilo izmed vseh vozil v formacije enote.
- Izračun/ocena prehodnosti tal za vozila se izvede v treh iteracijah, prvič s Setom A, drugič s Setom B in tretjič s kombiniranim setom v katerem sta grida slabše natančnosti DMV B in RABA B ter Ci kot konstantna vrednost 700 kPa (najbolj pričakovano Ci vrednost v običajnih razmerah humidne klime). Rezultat so trije gridi relativne vlečne sposobnosti vozila v reliefu (RVS). RVS A predstavlja najdetalnejšo oceno prehodnosti tal za obravnavano vozilo; RVS B vsebuje manj detaljne podatke in RVS komb. je rezultat DMV B, RABA B ter konstantnega CI.

### GIS model ocene prehodnosti terena za vozila (GMOPTV)

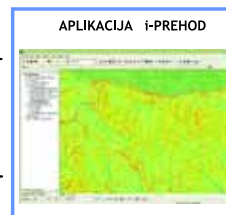
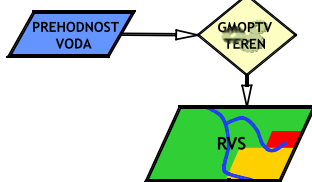
#### 1. PRIPRAVA PODATKOV



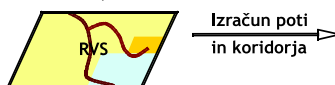
#### 2. IZRAČUN PREHODNOSTI TAL



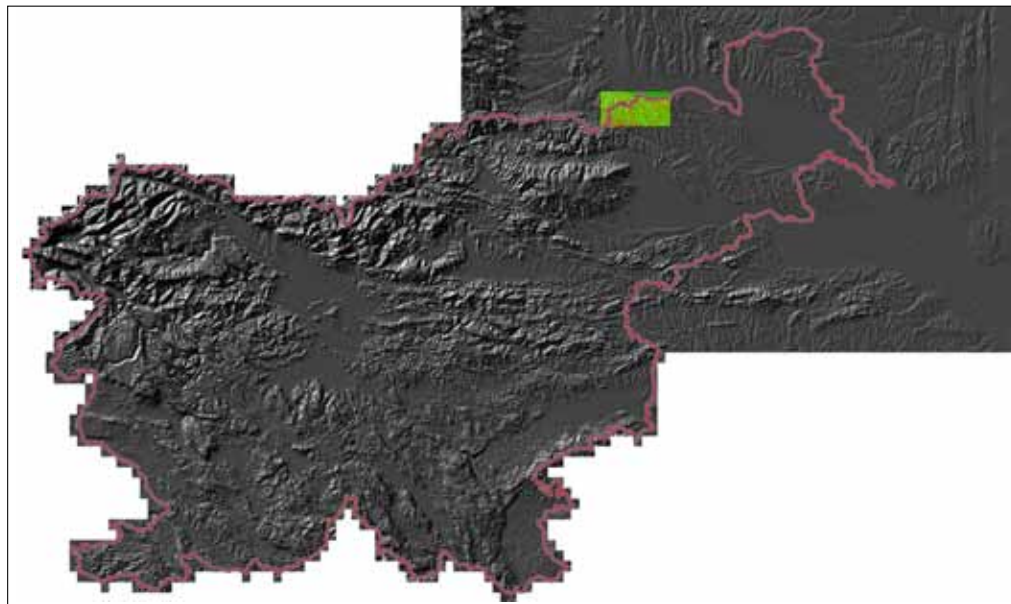
#### 3. IZRAČUN PREHODNOSTI TERENA



#### 4. GRID ZA IZRAČUN OPTIMALNE POTI / KORIDORJA



Slika 1: Potek GIS modela ocene prehodnosti terena za vozila.



Slika 2: Senčen relief, združen iz DMVA in DMVB.

- Izračun prehodnosti terena: vrednosti grida ocene prehodnosti terena je bilo treba prirediti v relativno obliko tako, da vse negativne vrednosti postanejo enake 0 (premikanje ni možno), pozitivne vrednosti pa ostanejo (večja razpoložljiva vlečna sila oziroma lažje premikanje). S tem je prehodnost podana prehodnost v relativni lestvici in ne v kPa.
- Modifikacija rezultatov za izračun poti je nujna za prireditev gridov za nadaljnje integracije modela v ArcGIS oziroma ArcMap aplikacijo, ki med drugim izračunava optimalno pot po prostoru (bojišču), vidnost poti in drugo. ArcMAP aplikacija prehodnosti ni del tega prispevka in so jo razvijali kolegi z Geološkega Zavoda Slovenije.

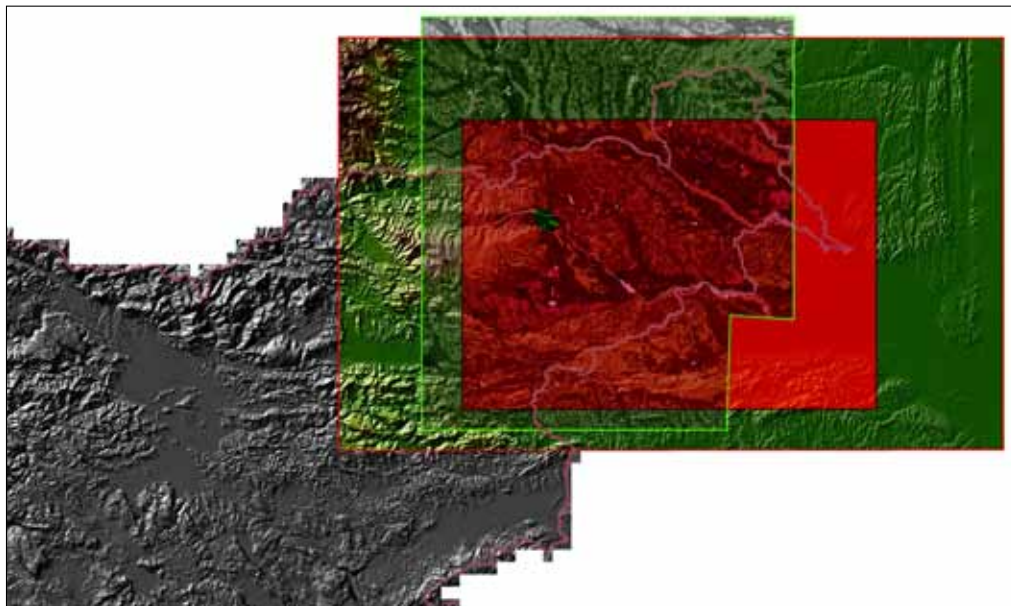
### 3.2 GIS algoritem za izračun prehodnosti terena za vozilo

GIS algoritem v AML kodi je izveden v dveh stopnjah:

#### I. Izračun voznih uporov pri vožnji vozila v ravnini:

Prehodnost tal za posamezno vozilo se kaže v njegovi sposobnosti za premikanje (rezultante vlečnih sil in voznih uporov v reliefu). Razliko med tangencialno reakcijo tal in voznimi upori označujemo kot vlečno sposobnost vozila. Višja je vlečna sposobnost na določeni točki zemljišča, večja je prehodnost te točke zemljišča za obravnavano vozilo. Vozna upora, ki sta upoštevana v tem modelu, sta kotalni upor zaradi deformacije pnevmatik in ugrezanja koles v površino tal ter upor pri vožnji po reliefu. V GIS modelu oziroma AML kodi je implementiran izračun:

- koeficient kotalnega upora pri vožnji vozila po ravnih tleh (deformacija pnevmatike, kolesno število, globina ugrezanja koles, radij stika pnevmatike s tlemi izračunamo s pomočjo grida globine ugrezanja koles ter spremenljivk vozila);
- silo kotalnega upora pri vožnji po ravnem zemljišču izračunamo s pomočjo grida koeficienta kotalnega upora, skupne teže vozila in faktorja;
- silo upora pri vožnji po reliefu, ki je odvisna od skupne teže vozila in kota vzpona klanca, po katerem se giblje vozilo.



Slika 3: Set B – lega in prekrivanje baz podatkov.

## II. Izračun relativne razpoložljive vlečne sposobnosti vozila v reliefu:

Relativna vlečna sposobnost vozila v reliefu predstavlja razmerje med teoretično možno vlečno silo, ki jo omogoča trdnost tal, in potrebo silo za premagovanje voznih uporov. Izračunane vrednosti so pozitivna in negativna cela števila. Vrednost 0 ali negativne vrednosti celic izračunanega grida označujejo območje, kjer se vozilo ne more gibati; vrednosti večje od 0 pa prostor, kjer vozilo lahko vozi. Višja je pozitivna vrednost celice grida, večja je prevoznost terena za obravnavano vozilo na tistem mestu. Izračun je izveden v treh izračunih:

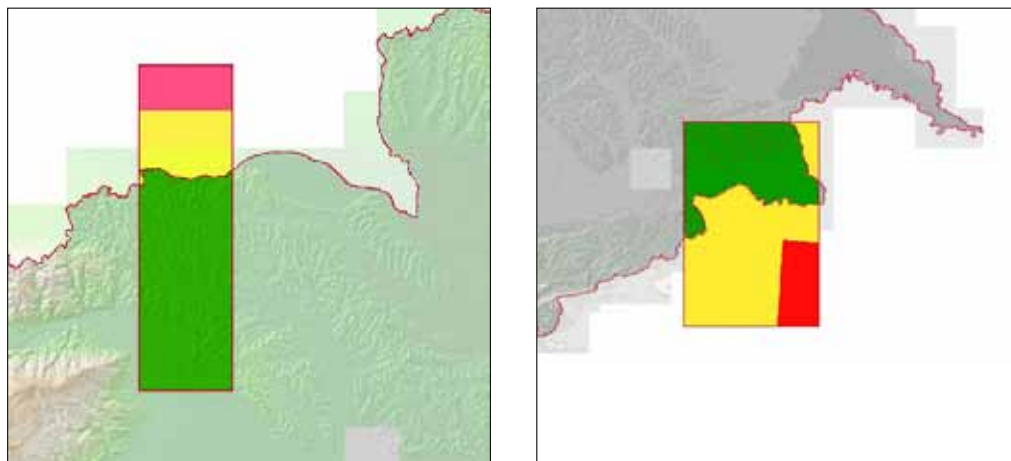
- skupna sila upora pri vožnji – akcija vozila;
- tangencialna reakcija tal;
- relativna vlečna sposobnost vozila.

Rezultat vseh izračunov je ESRI grid.

Ena izmed zahtev pri načrtovanju aplikacije je bila, da lahko model GMOPTV deluje v drugih okoljih zunaj meja Slovenije. V okviru projekta i-PREHOD smo za območje Slovenije pridobili podatke prostora, ki omogočajo dobro oceno prehodnosti terena za vozila (Set A). Podatke za Set B smo interpretirali in preoblikovali v grid obliko iz mednarodnih baz podatkov (SRTM, CLC in digitalno kartal tal Evrope). Območja vseh treh gridov se med seboj deloma prekrivajo. Tako smo lahko ocenili in predstavili delovanje modela v razmerah različnih kombinacij vhodnih podatkov (slika 3).

### 3.3 Nivojsko delovanje modela

Bistveni del modela GMOPTV se izvede v treh iteracijah, vsakič s drugim setom podatkov. Vmesni rezultat GMOPTV so trije gridi ocene prehodnosti tal (relativne vlečne sile) RVSA, RVSB in RVS kombinirani. Ti so v končni operaciji združeni v en grid RVS po načelu, da imajo v končnem gridu vrednosti celic RVSA prednost pred RVSB in ta prednost pred RVS kombinirani (slika 1). Na ta način so v enotnem gridu zvezno združeni podatki treh kakovostnih nivojev, ki pokrivajo območja prek meja RVSA oziroma prek območja države. Območje RVSA (na sliki 4 označeno zeleno) predstavlja območje



Slika 4: Primera, ko je območje ocene prehodnosti terena izdelano s podatki Seta A (zeleno) in Seta B (rumeno) in kombiniranega seta (rdeče).

največje točnosti napovedi, območje RVS B slabše točnosti, medtem ko celice območja RVS C nakazujejo možnost prehoda le okvirno.

Prostorski prikaz natančnosti ocen prehodnosti je za uporabnika aplikacije pomemben podatek. GMOPTV AML izdela tudi grid OBMNAT, ki prikazuje prostorski obseg natančnosti izračunov v treh stopnjah. Vrednost 3 celic grida OBMNAT, predstavlja območja največje natančnosti – ocena prehodnosti je izračunana na podlagi Seta A. Na primeru (slika 4) so ta območja obarvana zeleno. Vrednost 2 predstavlja območja srednje natančnosti ocene prehodnosti, ki je bila izračunana na podlagi Seta B (na primerih obarvano z rumeno). Vrednost celic 1 (rdeče) prikazuje obseg ocene prehodnosti z najnižjo stopnjo natančnosti, kjer je na voljo samo obseg vhodnih podatkov Seta kombinirani. Stopenjska natančnost ocen prehodnosti v istem gridu je tako zagotovljena v prostorskem smislu (GMOPTV poda zvezno informacijo med prostorom z boljšimi in slabšimi podatki) in v vsebinskem smislu (prehodnost ocenjena na podlagi različnih stopenj kakovosti).

### 3.4 Povzetek rezultatov s primeri in izrisi

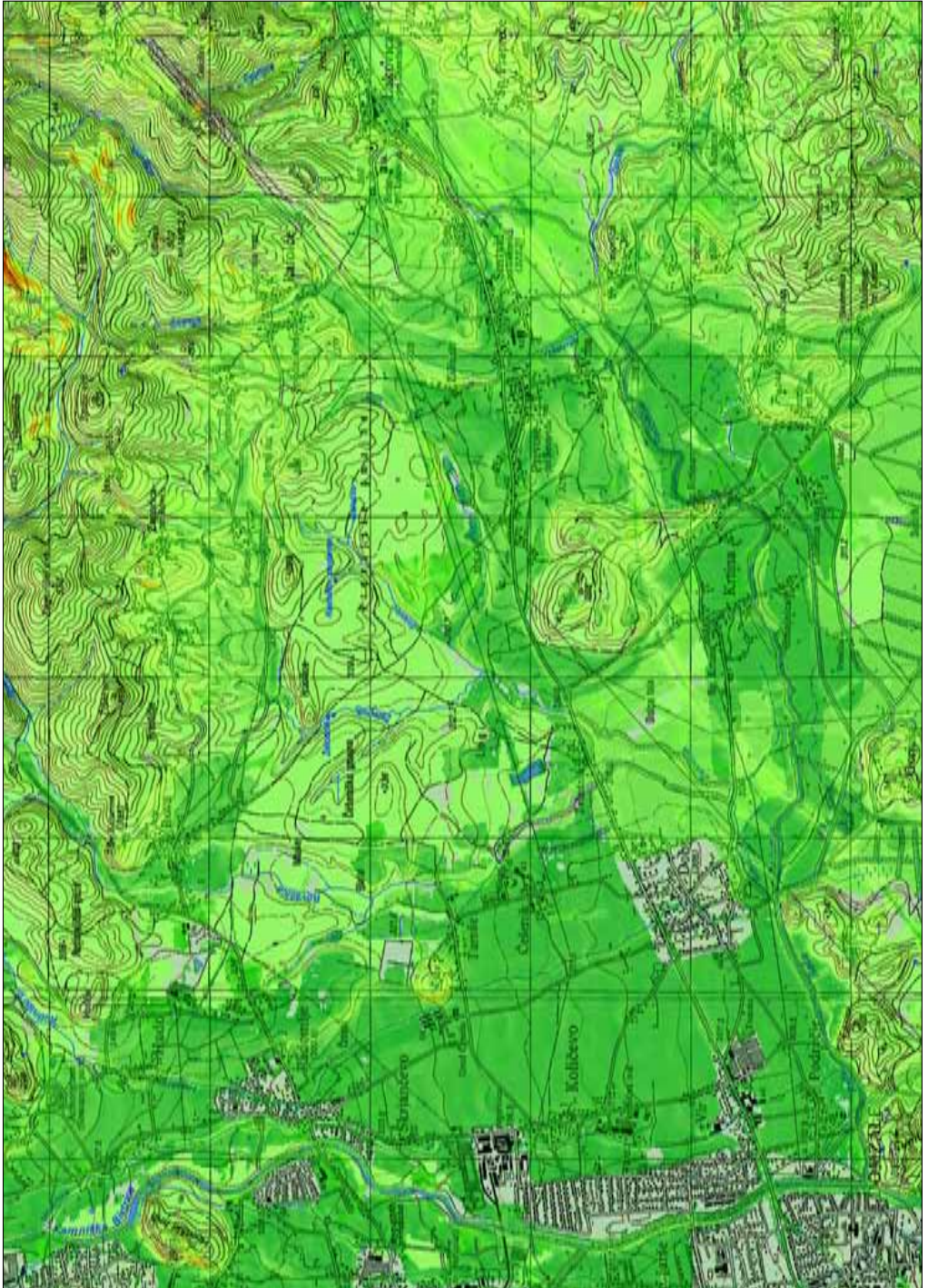
Končni rezultat je v ArcGIS delujoč GIS model za ocenjevanje prehodnosti terena za vozila, primeren za integracijo v aplikacijo iPREHOD v ArcMAP okolju. Rezultat modela GMOPTV je v prvi fazi grid ocene prehodnosti zemljišč (RVSP). Pozitivne vrednosti celic grida RVSP med 1 in n nakazujejo razpoložljive sile (vlečne sile), ki jo na določeni točki (celici grida) zemljišča izbrano vozilo premore. Število n ni navzgor omejeno. Vrednost npr. 100 pomeni, da lahko nudijo tla dvakrat večjo silo reakcije, kot je potrebna sila za premagovanje voznih uporov pri vožnji vozila na območju, ki ga pokriva obseg celice grida. Analogno vrednost grida 300 predstavlja zemljišča, kjer je 300 % prebitka razpoložljive reakcije tal. Po teh se lahko vozilo giblje hitreje. Pri vrednosti 25 ali 5 je le 25 % oziroma 5 % prebitka razpoložljive reakcije tal. V skladu s tem se lahko giblje le počasi oziroma v primeru vrednosti 5 zelo počasi ali se že zaustavlja.

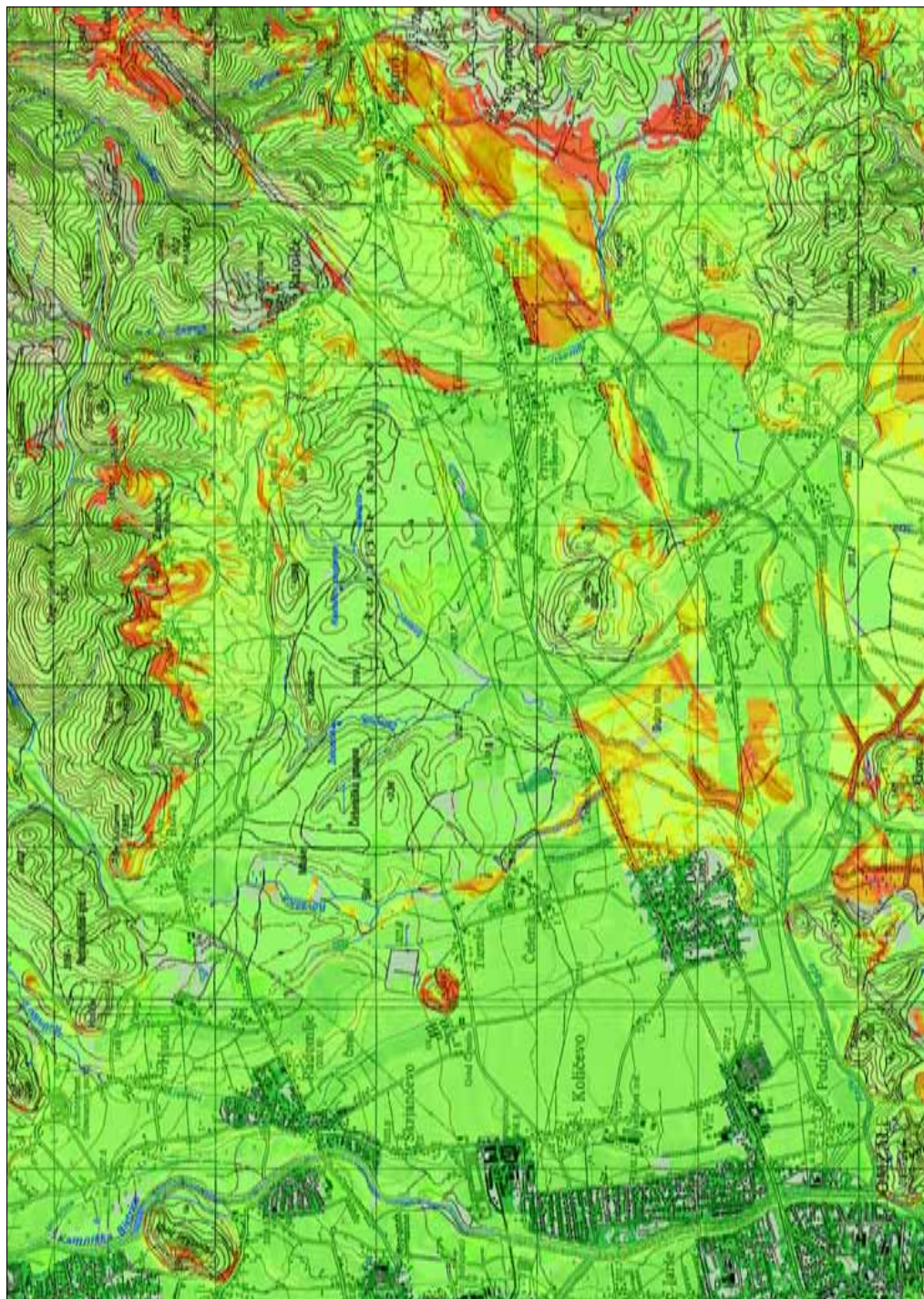
Slika 5: Prehodnost tal za vozilo Pinzgauer. ► (str. 48)

Slika 6: Prehodnost tal za vozilo Eurotrak MP 38. ► (str. 49)

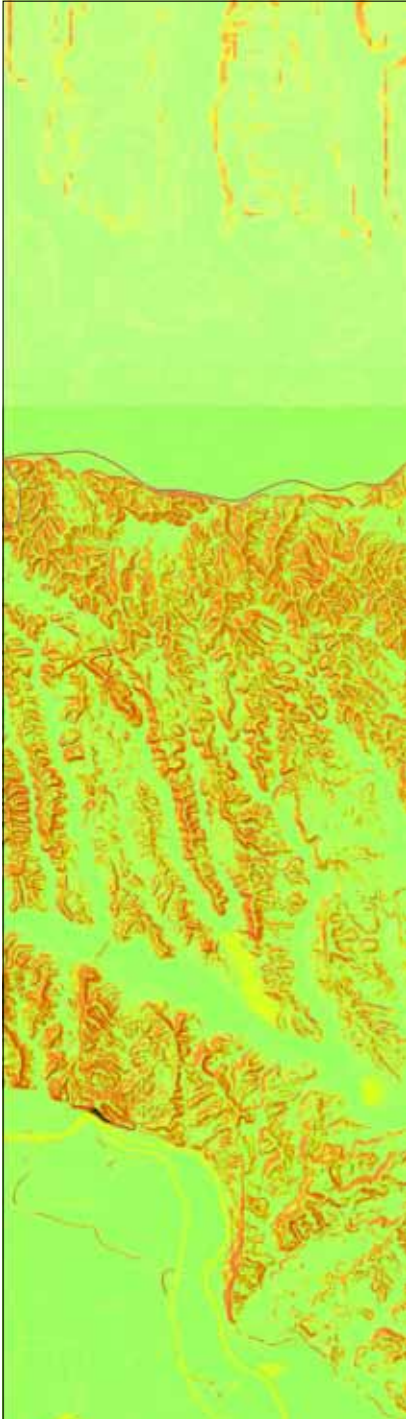
Slika 7: Prehodnost terena na območju Šentilja za vozila: a) TAM/80 T-5-B b) TAM/125 T-10-ACV, c) IVECO/EuroCargo, ML100E18WR in d) Renault/CLIO/1. ► (str. 50–51)



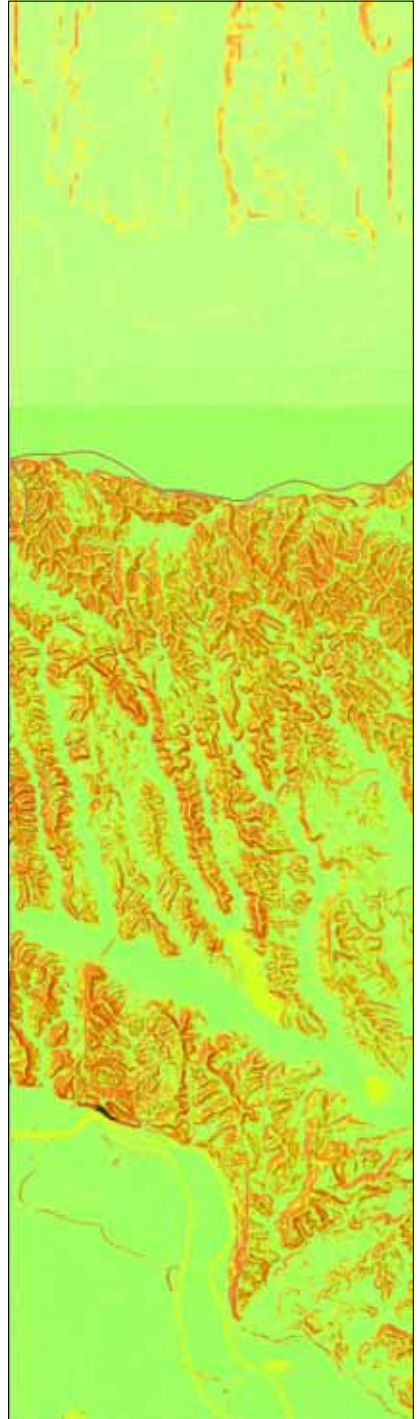


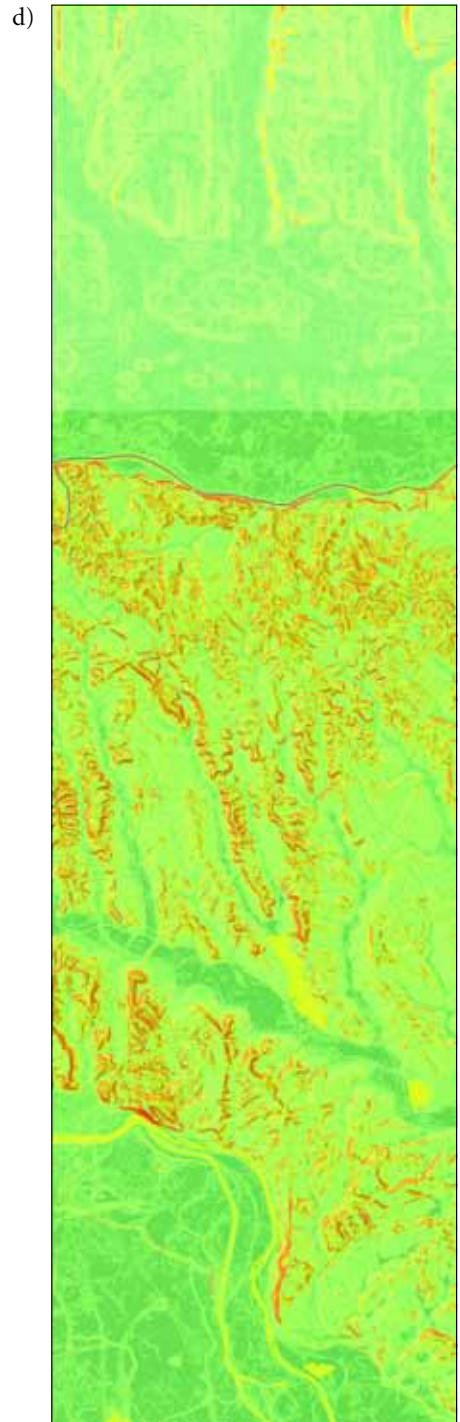
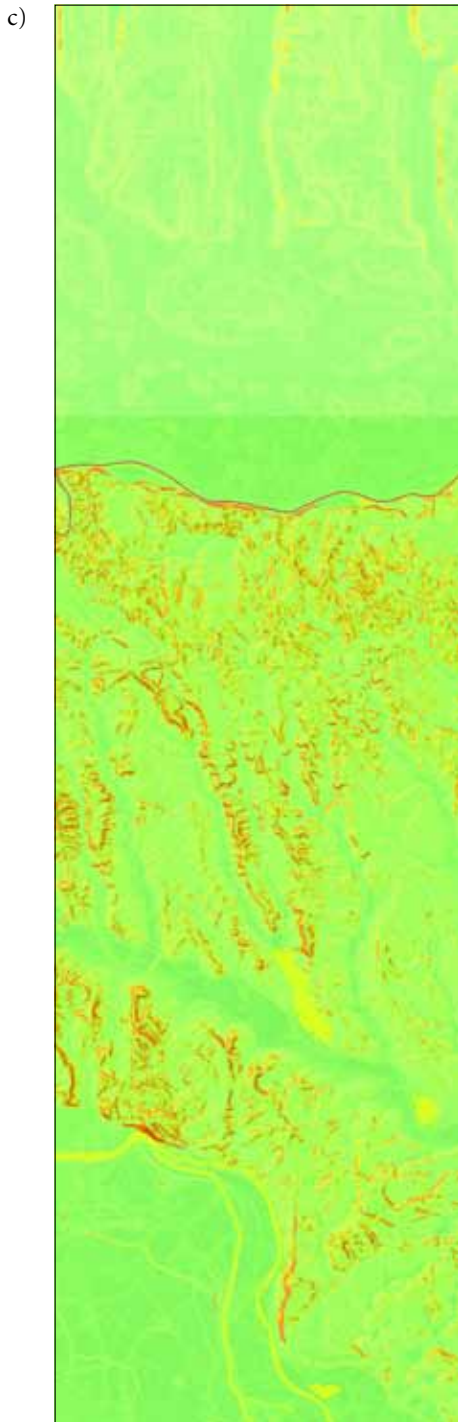


a)



b)





Negativne vrednosti grida RVSP nakazujejo stopnjo neprehodnosti zemljišč. Nižja kot je vrednost celic grida, bolj je zemljišče neprehodno za izbrano vozilo. Vrednost –50 označujejo zemljišča, kjer je razpoložljiva reakcija tal 50 % manjša od voznih uporov vozila in je bolj neprehodno od zemljišča z vrednostjo celice –10, kjer razpoložljiva reakcija tal za 10 % premajhna, da bi se vozilo lahko premikalo po pobočju navzgor.

Grid RVSP tako predstavlja informacijo o:

- stopnji prehodnosti zemljišč,
- zemljiščih, kjer se vozilo zaustavi, ter
- stopnji neprehodnosti zemljišč.

Rezultat prehodnosti zemljišč na območju v celoti pokritem s podatki Seta A predstavljata sliki 5 in 6. S sliko za posamezno vozilo ugotovimo lažjo/težjo prehodnost tal, stopnjo, ko se vozilo zaustavi, ter tudi lažjo/težjo neprehodnost terena. Teren je obarvan glede na prenosnost za vozila v barvni lestvici:

- Temno zeleno do zeleno-rumeno: teren je prehodan za obravnavano vozilo. Bolj je barva temno zelena, lažja je prehodnost; svetlo zeleno nakazujejo srednjo relativno prehodnost, medtem ko rumeno-zelena območja nakazujejo teren, ki je slabo oziroma komaj prehodan za izbrano vozilo.
- Rumeno: rumena barva označuje neprehoden teren; zemljišče ima takšne kombinacije talnih lastnosti in reliefa, da se vozilo zaustavi.
- Rumeno-oranžno do rjavo: rumena barva označuje razpon neprehodnosti terena. Bolj kot je teren neprehoden, slabša je kombinacija lastnosti tla – relief, temneje oranžno oziroma rjavo je zemljišče obarvano.

Slika 5 kaže prehodnost tal za vozilo Pinzgauer: zemljišča so za to lahko vozilo z zelo dobrimi voznimi lastnostmi v veliki meri prehodna. Neprehodni so le tereni z velikim in zelo velikim nagibom. Tovornjak Eurotrak MP 38 ima slabše vozne lastnosti (slika 6). Zaradi teže vozila in voznih lastnosti so težko prevozna tla hidromorfni zemljišč južno od Krtine in vzhodno od Gorjuše ter v dolini Lukovice. Nепrevozna so tudi zemljišča s strmejšim nagibom. Opazna je tudi neprevoznost brežin avtoceste pri Krtini.

Prehodnost terena na območju s kombiniranimi podatki Seta A, Seta B in Seta kombinirani: Slika 7 prikazuje primere prehodnosti terena za štiri različna vozila na območju, ki sega zunaj Slovenije – območje Šentilja. Jasno je vidna ločnica podatkov detajlnega DMV 12,5 in SRTM. V severnem delu je prehodnost terena ocenjena na podlagi SRTM in na podlagi interpretirane pedološke karte tal Evrope. Ločljivost je tem delu je manjša, izrazitost reliefnih tvorb je slabša. Kljub temu je ocena prehodnosti za posamezna vozila jasno izražena in zvezna z spodnjim delom, kar omogoča načrtovanje smeri in primerjav prehodnosti tudi v primeru podatkov slabše kakovosti, ki so predvidoma na voljo zunaj meja države. Pojasnilo barvne lestvice na sliki je enako kot za prejšnje primere. Najboljša prehodnost je izkazana za visoko sposobno vojaško vozilo ML100E18WR in manj za tovornjake le deloma prirejene za vojaško rabo TAM/80 in TAM/125. Na prvi pogled nelogično, a zaradi razmerij med težo, površino pnevmatike, moči na pogonskem kolesu se ob ustreznih terenskih pnevmatikah dobro odreže osebno vozilo CLIO.

## 4 Sklep

GIS tehnologije omogočajo celovito podporo nadzoru in koordinaciji vojaških sil na terenu. Informacija o prostoru in možnostih premikov prek terena zunaj cestnišča je pomembna v primeru obrambe pred agresijo, terorističnimi akcijami ter v primeru naravnih in človeško pogojenih nesreč. Sistem za podporo odločanju na bojišču z vidika prehodnosti terena je namenjen prav za potrebe prehodnosti in dostopnosti. Razvit sistem in operacijski modul (aplikacija) omogočata uporabniku oceno možnosti prehodnosti za vozila med točkama A in B oziroma oceno možnosti dostopa do izbrane lokacije. V aplikaciji je možno izbirati kategorije vozil in na podlagi njihovih lastnosti optimizirati smer prehodov.

Aplikacija je razvita v programskem okolju ESRI po odprtem in modularnem principu, kar omogoča dodajanje/izločanje prostorskih informacijskih slojev (npr. vegetacija, raba tal, lokacije miniranih ozemelj, zasutih ali neprehodnih območij zaradi usadov, podorov, zemeljskih plazov itd.), nadgradnjo in izboljšavo algoritmov, ter nadgradnjo funkcionalnosti z različnimi namenskimi moduli.

## **Zahvala**

*Avtorji prispevka in sodelavci na projektu se zahvaljujejo Ministrstvu za obrambo Republike Slovenije in agenciji TIA za sredstva za izvedbo projekta in za tvorno sodelovanje pri izvajanju projekta.*

## **5 Viri in literatura**

- Albert, M., Koenig G., Mason G. 2000: Development of a Fast All-Seasons Model for the State of the Ground. Winter simulation conference 2000. Orlando.
- Bekker, M. G. 1968: Introduction to Terrain-Vehicle System. Michigan.
- Brikel, P. A. 2003: Terrain Trafficability in Modelling and Simulation. SEDRIS Technical paper 2003-1, The MITRE Corporation.
- GURS, 2005: Digitalni model višin 12,5 m (DMV12,5). Ljubljana, Geodetska uprava Republike Slovenije.
- MKGP in CPVO, 2001: Digitalna pedološka karta Slovenije 1 : 25.000 (PK25). Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano in Biotehniška fakulteta, Center za pedologijo in varstvo okolja, Biotehniška fakulteta.
- Richmond, P. W., Reid, A. A., Shoop, S. A., Mason G. L. 2005: Terrain Surface Codes for an All-Season, Off-Road Ride Motion Simulator. Medmrežje: <http://www.msiac.dmsi.mil/NewsDigest/Terrain-SurfaceCodes-RideMotionSimulator.pdf> (21. 2. 2006).
- Saarilahti, M. 2002: Soil Interaction Model. Helsinki.
- Suvinen, A. 2003: Terrain Mobility Model and Determination of Optimal Off-Road Route. Helsinki.
- Visone, D. 2003: Customizing ESRI Products to meet the Army War Fighter's Needs. Twenty-Third Annual ESRI International User Conference. San Diego.
- Vong, T. T., Haas, G. A., Henry, C. IL. 1999: NATO Reference Mobility Model (NRMM) Modelling of the DEMO III Experimental Unmanned Ground Vehicle (XUV), Weapons and Materials Research Directorate, Army Research Laboratory.
- Wong, J. Y. 1989: Terramechanics and Off-Road Vehicles. Amsterdam.



## SUBJEKTIVNOST PRI METODI SEGMENTACIJE

**Rok Ciglič**

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

UDK: 91:659.2:004(497.4)  
528.94:551.4:004(497.4)

### IZVLEČEK

#### **Subjektivnost pri metodi segmentacije**

V prispevku predstavljamo metodo segmentacije, ki se uporablja večinoma pri obdelavah satelitskih in letalskih posnetkov, pa tudi na drugih področjih. Metoda je zaradi določevanja homogenih območij uporabna tudi v geografiji, na primer pri regionalizacijah. Z metodo segmentacije smo z različnimi parametri v programu Idrisi Taiga na podlagi višine in naklona površja razdelili severozahodno Slovenijo na homogene reliefne enote in tako računalniško določili meje med njimi. Analizo smo večkrat ponovili z različnimi vrednostmi parametrov. Pri pregledu rezultatov smo se osredotočili predvsem na vprašanje, kako lahko uporabnik z različnimi nastavitvami v programih vpliva na rezultate.

### KLJUČNE BESEDE

geografija, geografski informacijski sistemi, metoda segmentacije, Idrisi, digitalni model višin, Slovenija

### ABSTRACT

#### **Subjectiveness of segmentation method**

In the paper the segmentation method is presented, which is generally used in the satellite and aerial images processing, as well as in other researches. Due to its ability to define the homogeneous areas the method is also useful in geography, for example in regionalization. With segmentation method in Idrisi Taiga software we divided northwestern part of Slovenia into homogeneous relief units according to elevation and slope and in such a way we managed to define borders between them. The analysis was repeated several times with different settings of parameters. The review of the results was focused on the question of the influence on the outcome of the analysis one can have by setting different parameters in GIS.

### KEY WORDS

geography, geographic information systems, segmentation method, Idrisi, digital elevation model, Slovenia



## 1 Uvod

Členitev površja na posamezne prostorske enote je v geografiji pogosto opravilo. Geografska stroka je izdelala različne členitve, katerih pregled so opravili Kladnik (1996), Perko (1998), Klemenčič (2004) ter Natek in Žiberna (2004). Členjenje so spremljali številni izzivi, med katerimi so avtorji opozorili tudi na določanje meja med prostorskimi enotami ter uporabo kvantitativnih metod (Gams 1986b; Natek 1998; Perko 1998). Določanje meja na kvantitativen način omogoča metoda segmentacije, ki se uporablja predvsem pri obdelavi digitalnih posnetkov, v medicini, pri daljinskem zaznavanju in na drugih področjih. V prispevku prikazujemo, kako se segmentacija lahko uporablja v geografiji, še posebej pri členitvah na homogene prostorske enote, hkrati pa poskušamo ugotoviti, kako lahko uporabnik s spreminjanjem parametrov vpliva na rezultate. Uporabili smo program Idrisi Taiga (različica 16.05).

### 1.1 Metoda segmentacija

Metoda segmentacije je postopek oziroma način členitve rastrske (digitalne) slike oziroma proces združevanja sosednjih celic (pikslov) na podlagi določenih kriterijev v homogene enote. Znotraj takih enot morajo imeti posamezne celice čim bolj podobne značilnosti (Meinel in Neuber 2004, 1097; Acharya in Ray 2005, 131). Te so lahko predstavljene s kontrastom, spektralno vrednostjo ali teksturo (Acharya in Ray 2005, 131). Znotraj posameznih homogenih enot ne sme biti »lukenj« oziroma manjših območij z drugimi vrednostmi, meje med enotami pa morajo biti sklenjene ter čim bolj natančne (Pratt 2007, 579).

Izraz segmentacija označuje »razčlenitev« oziroma »razčlenjenost« (SSKJ). Podoben izraz »členjenje« ali »členitev« se pogosto uporablja tudi v geografiji. Kladnik (1996) je pri pregledu regionalizacij in tipizacij za vse uporabil skupen izraz členitev. Segmentacija je postopek, ki prav tako deli površje na homogene enote. Zaradi računskega načina določanja enot ga lahko v geografiji prevedemo kot »računalniška členitev«. Uporaba tujke »segmentacija« je smiselna, saj lahko po njej dobljene prostorske enote, to je segmente, nadalje združimo v skupine ter šele nato dokončno razdelimo na regije ali tipe. Segmentacija namreč le deli podatkovne sloje na homogene prostorske enote, pri tem pa ne prepozna individualnosti teh enot ali njihovih razmerij do ostalih enot (Pratt 2007, 579).

V tujini so segmentacijo pri členitvah ozemlja uporabili že večkrat (na primer Mücher s sodelavci 2003; Mücher s sodelavci 2006), v Sloveniji pa redkeje, pogosto v povezavi s subjektivnimi metodami (na primer Perko 2009). V Sloveniji so metoda največkrat uporabljali pri obdelavi slik v računalništvu, medicini in daljinskem zaznavanju (na primer Potočnik in Lenič 2008; Hladnik in Lazar 2009; Kanjir 2009; Lenič, Potočnik in Zezula 2009).

### 1.2 Vrste metod segmentacije

Zaradi naraščanja digitalnih podatkov in njihovih analiz so se razvile različne metode segmentacije (Acharya in Ray 2005, 131; Pratt 2007, 579). Delijo se lahko glede na upoštevanje dveh značilnosti: nezveznosti in podobnosti med celicami. Pri prvih se delitev izvaja glede na nenadne spremembe vrednosti celic, pri drugih pa se sosednje celice z enakimi ali s podobnimi vrednostmi združujejo v sklenjeno prostorsko enoto (Acharya in Ray 2005, 132). S tipologijo metod se je ukvarjalo več avtorjev (na primer Acharyaja in Ray 2005; Wu in Castleman 2009). Pratt (2007) je na primer metode razdelil takole:

- segmentacije na podlagi pogostnostne porazdelitve (histograma) vrednosti,
- segmentacije z razvrščanjem vrednosti,
- segmentacije območij,
- segmentacije meja,
- segmentacije na podlagi teksture.

V praktičnem delu prispevka smo uporabili program Idrisi Taiga, ki pri segmentaciji uporablja metodo, podobne postopku delitve površja na porečja (*watershed segmentation*) in postopku rasti območja (*region growing*). Po Prattovi delitvi (2007) oba spadata v skupino segmentacij območij.

**Metoda porečij** je zasnovana na analizi topografije in hidrologije. Vrednosti celic podatkovnega sloja so v tem primeru razumljene kot vrednosti višine površja. Visoke vrednosti ustrezajo grebenom, nizke vrednosti pa dolinam. Če si zamislimo kapljo vode, ta teče z višjih vrednosti proti nižjim. Akumulacija kapljic vode okrog lokalnega minimuma se imenuje zbirna kotlina in vse celice, s katerih se voda steka v isto kotlino, so del istega porečja. Obstajata dva osnovna pristopa k določanju porečij: metoda dežja in metoda poplavljanja. Pri segmentaciji na porečja se pogosto podatkovni sloj pretvori v sloj, ki prikazuje stopnjo spreminjanja (Pratt 2007; Lotufo s sodelavci 2008).

**Rast območja** je pristop, ki združuje posamezne sosednje celice ali manjšo skupino celic v večje prostorske enote (Acharya in Ray 2005, 148; Pratt 2007, 590; Wu in Castelman 2008, 173). Glavni kriterij pri tem procesu je homogenost območij. Na začetku je treba razdeliti podatkovni sloj na majhne enote; te lahko dobimo tudi kot porečja, opisana v prejšnjem poglavju. Na podlagi vrednosti celic se izračunajo kazalci, ki omogočajo primerjavo posameznih prostorskih enot in združevanje v večja območja. Glede na razlike med sosednjimi enotami se ugotavlja, kako močna je meja med njima. Če sta si enoti med seboj različni, se meja ohrani, če sta si podobni, je meja označena kot šibka. V slednjih primerih se enote združijo v večje (Acharya in Ray 2005, 148; Wu in Castleman 2008, 173 in 174).

Pri segmentaciji je treba določiti nekatere omejitve pri združevanju (Pratt 2007, 590), še posebej je pomembno, da se določijo začetne točke oziroma območja, določi sosedskost območij, izračuna mera podobnosti med sosednjimi območji, določijo ravni, do katere se enote še združujejo, ter da se določi prag minimalne površine območij oziroma prostorskih enot (Acharya in Ray 2005).

*Preglednica 1: Predlagan postopek segmentacije po principu rasti območja po Acharyaju in Rayu (2005).*

- 1 Segmentacija podatkovnega sloja na zaključene prostorske enote  $R_1, R_2, \dots, R_m$  z uporabo upravljanja.
- 2 Izdelava grafikona sosedskosti prostorskih enot (*region adjacency graph*).
- 3 Vsaki enoti  $R_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) določiti vse enote  $R_j$ , ki so sosednje ( $j \neq i$ ).
- 4 Izračun stopnje podobnosti  $S_{ij}$  med  $R_i$  in  $R_j$  (za vse kombinacije).
- 5 Združitev  $R_i$  in  $R_j$ , če stopnja podobnosti med njima presega določen prag podobnosti.
- 6 Ponavljanje korakov 3, 4 in 5, dokler se nobeno območje več ne združi.

## 2 Segmentacija v programu Idrisi Taiga

Modul *segmentaton* v programu Idrisi Taiga računalniško razčlenjuje površje po načelu določanja porečij ter rasti območja. Najprej določi porečja, ki predstavljajo začetne homogene prostorske enote, nato pa le-te združuje na podlagi podobnosti. Najprej se zarišejo meje, nato pa se le-te brišejo, kjer razmejujejo dovolj podobni sosednji enoti (porečji). Proces segmentacije obsega tri sklope. To so (Idrissi Taiga ... 2010):

- izdelava površja podatkovnega sloja (z matričnim oknom se izračuna lokalna varianca za posamezno celico; če uporabljamo več podatkovnih slojev, se vsi z utežmi združijo v en sloj);
- določitev porečij (podatkovni sloj, ki prikazuje varianco, se v tem koraku uporablja kot sloj višin – celice z visoko variance so grebeni, celice z nizko pa doline; celice se uvrstijo v pripadajoča porečja);
- združevanje sosednjih porečij (podobna porečja oziroma prostorske enote se združijo; pri tem se za par dveh enot preveri, če sta si medsebojno podobni in sta sosednji ter če je njuna združitev pod določenim pragom podobnosti).

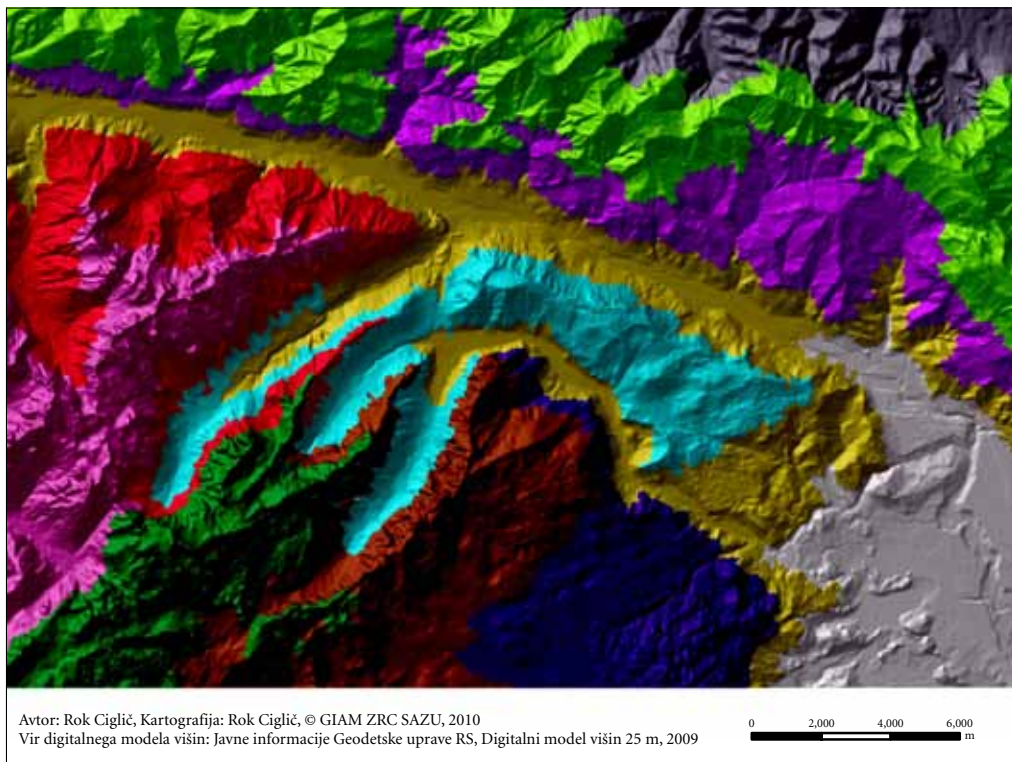
Pri tem postopku je treba nastaviti več parametrov (Idrisi Taiga ... 2010):

- število podatkovnih slojev z utežmi,
- velikost okna, s katerim računamo varianco,
- pomen povprečja in standardnega odklona celic znotraj prostorskih enot pri računanju podobnosti,
- tolerančni prag podobnosti za združitev prostorskih enot.

### 3 Primer segmentacije s podatki digitalnega modela višnin in poskus ocene rezultatov

Uporabo segmentacije smo preizkusili z digitalnim modelom višnin (DMV). Segmentacijo smo preizkusili z DMV predvsem zato, ker je to računalniški prikaz izoblikovanosti površja (Perko 2001, 11), ta pa je glede na dosedanje rabo v geografiji (na primer Melik 1946; Gams 1986a; Perko 1998; Špes s sodelavci 2002) eden najpomembnejših dejavnikov za določanje tipov in regij. Uporabili smo standardizirana sloja nadmorske višine in naklona. Testno območje obsega severozahodno Slovenijo, natančneje vzhodni del Julijskih Alp, zahodnih Karavank ter dolin Save in Soče. Koordinate pravokotnega območja so:  $X_{\min} = 1.046.706$ ,  $X_{\max} = 1.086.563$ ,  $Y_{\min} = 5.148.315$ ,  $Y_{\max} = 5.174.984$ . Z Idrisijem smo večkrat ponovili segmentacijo z različnimi vrednostmi parametrov.

Analizo smo izvedli dvakrat. Najprej smo določili homogene enote glede na nadmorske višine, nato pa smo določili homogene enote glede na oba podatkovna sloja (višino in naklon). Primera segmentacije sta prikazana na slikah 1 in 2.



Slika 1: Rezultat segmentacije glede na nadmorske višine (okno 5 krat 5, razmerje uteži povprečje in uteži standardnega odklona: 0,5 proti 0,5, prag tolerance: 300).

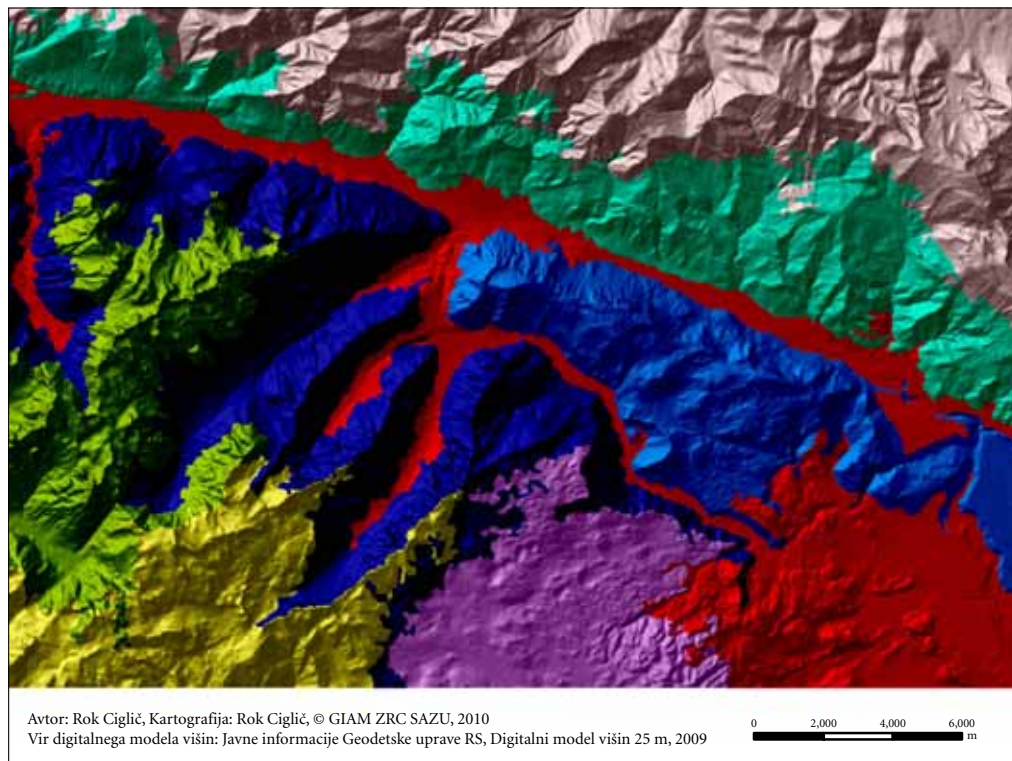
Pri upoštevanju obeh podatkovnih slojev smo uspeli nazorno izločiti Dolino ter dolino Radovne, prav tako pa je izrazito vidna Pokljuka ter najvišji deli Julijskih Alp. Izstopa tudi Mežakla, čeprav na vzhodu ni obrobljena. Tudi vzhodni rob Pokljuke je slabo opredeljen oziroma priključen območju dolin oziroma nižjega sveta.

Pri segmentaciji glede na višine so reliefne enote manj opazne, gre pa bolj za združevanje na višinske pasove.

Pri obeh poskusih smo različne kombinacije parametrov poizkusili tako, da smo vsakokrat spreminjali vrednosti le za enega izmed parametrov. Spreminjali smo velikost okna, toleranco podobnosti ter razmerje med utežjo povprečja in standardnega odklona. Preizkusili smo naslednje kombinacije:

- velikost okna (pri toleranci podobnosti 200 ter razmerju uteži povprečja in uteži standardnega odklona 0,5 : 0,5) za velikosti: 3 krat 3, 5 krat 5, 7 krat 7, 9 krat 9, 11 krat 11, 13 krat 13, 15 krat 15;
- vrednost tolerance podobnosti (pri velikosti okna 5 krat 5 ter razmerju uteži povprečja in uteži standardnega odklona 0,5 : 0,5,) za vrednosti: 100, 150, 200, 250, 300, 350;
- razmerje uteži povprečja in standardnega odklona (pri velikosti okna 5 krat 5 in toleranci podobnosti 200) za razmerja: 1,0 : 0,0; 0,9 : 0,1; 0,8 : 0,2; 0,7 : 0,3; 0,6 : 0,4; 0,5 : 0,5; 0,4 : 0,6; 0,3 : 0,7; 0,2 : 0,8; 0,1 : 0,9; 0,0 : 1,0;

Pri segmentaciji z obema podatkovnima slojema smo ves čas ohranili njuno razmerje izenačeno (torej uteži z vrednostjo 0,5).

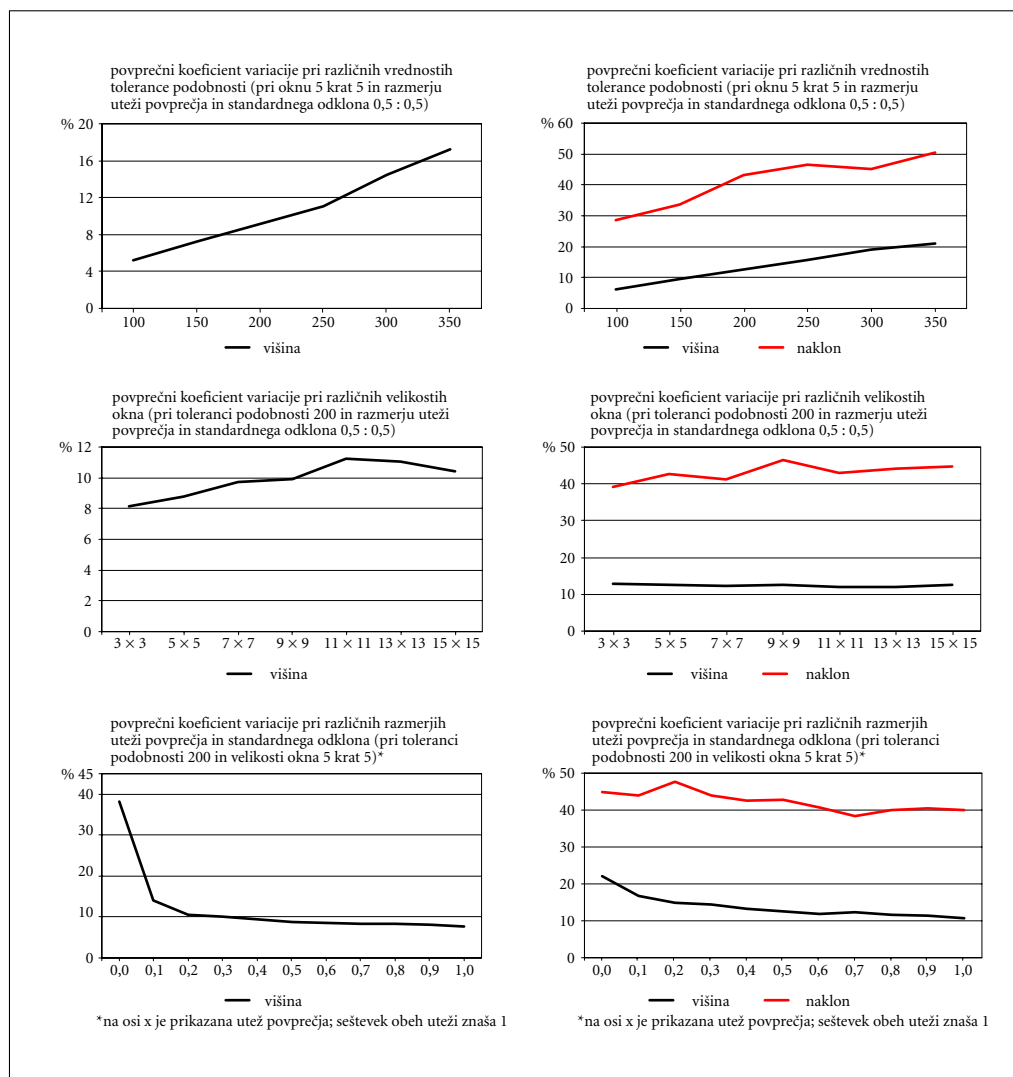


Slika 2: Rezultat segmentacije glede na nadmorske višine in naklon (utež nadmorskih višin: 0,5, utež naklona: 0,5, okno 5 krat 5, razmerje uteži povprečje in uteži standardnega odklona: 0,5 proti 0,5, prag tolerance: 350).

## 4 Vrednotenje rezultatov

Rezultate smo primerjali tako, da smo izračunali koeficient variacije (KV) nadmorskih višin in, ob uporabi obeh podatkovnih slojev, tudi KV naklona za vsak dobljen poligon. Vrednosti za posamezne poligone, ki so nastali ob isti segmentaciji, smo uporabili za izračun povprečnega KV, ki prikazuje lastnost celotne segmentacije (slika 3). Računanje KV je potekalo za originalne (nestandardizirane) podatkovne sloje. Za vsako segmentacijo smo preverili tudi število poligonov (preglednici 2 in 3).

S primerjavo povprečnega KV so se nakazale nekatere značilnosti nastavitvev parametrov. Večja toleranca podobnosti omogoča večje poligone, ki pa so seveda manj homogeni. Pri izbiri razmerja uteži povprečja ter uteži standardnega odklona je opazno, da homogenost narašča z večanjem uteži povprečja



Slika 3: Primerjava različnih parametrov.

## Subjektivnost pri metodi segmentacije

*Preglednica 2: Število poligonov pri segmentaciji na podlagi višine.*

razmerje uteži povprečja in uteži standardnega odklona	število poligonov	okno	število poligonov	toleranca podobnosti	število poligonov
0,0: 1,0	1	3 krat 3	37	100	358
0,1: 0,9	12	5 krat 5	37	150	101
0,2: 0,8	21	7 krat 7	41	200	34
0,3: 0,7	28	9 krat 9	45	250	20
0,4: 0,6	33	11 krat 11	39	300	10
0,5: 0,5	37	13 krat 13	40	350	6
0,6: 0,4	48	15 krat 15	40		
0,7: 0,3	46				
0,8: 0,2	57				
0,9: 0,1	56				
1,0: 0,0	61				

*Preglednica 3: Število poligonov pri segmentaciji na podlagi višine in naklona.*

razmerje uteži povprečja in uteži standardnega odklona	število poligonov	okno	število poligonov	toleranca podobnosti	število poligonov
0,0: 1,0	18	3 krat 3	71	100	942
0,1: 0,9	35	5 krat 5	66	150	205
0,2: 0,8	41	7 krat 7	70	200	63
0,3: 0,7	51	9 krat 9	71	250	30
0,4: 0,6	62	11 krat 11	67	300	15
0,5: 0,5	66	13 krat 13	65	350	8
0,6: 0,4	79	15 krat 15	63		
0,7: 0,3	78				
0,8: 0,2	76				
0,9: 0,1	85				
1,0: 0,0	89				

(KV pada); prav tako narašča tudi število poligonov. Spreminjanje velikost okna sicer ne povzroča velikih sprememb, opazen pa je bil upad homogenosti predvsem pri sloju nadmorskih višin.

Mnenja različnih avtorjev o metodi rasti območij so različna, izpostavljajo pa možnost upoštevanja več lastnosti naenkrat (Wu in Castleman 2008, 174), odvisnost od izbora začetnih območij (Pratt 2007, 592) ter preveč ali premalo razčlenjen končni rezultat, kar je posledica slabega izbora nastavitvev (Acharya in Ray 2005, 148). Metoda torej zahteva nastavitvev nekaterih uteži in pragov, kar pomeni, da pristop le ni popolnoma računsko objektivni. Zaradi tega je orodje za vrednotenje kvalitete zelo zaželeno (Meinel in Neubert 2004, 1102). Nekaj metod za ustrezno določanje parametrov sta predlagala Potočnik in Lenič (2008); predstavila sta metodo, pri kateri ob nespremenjeni vrednosti ostalih parametrov spreminjamo le vrednost enega parametra. Rezultate segmentacije z različnimi vrednostmi parametrov se pokaže uporabniku, ki izbere najboljšo. Tako se določi vrednost za vsak parameter. Ta postopek je bil

tudi glavna ideja za vrednotenje rezultatov v tem prispevku, le da smo tu oceno končnega uporabnika nadomestili z izračunom KV.

Navsezadnje nobena členitev ni popolna. Tudi ob uporabi GIS-ov je rezultat subjektiven, saj se ne moremo izogniti odločitvam pri izboru pokrajinskih elementov, njihovi obtežbi in določanju mejnih vrednosti (Natek in Žiberna, 2004, 25). Zato je pri segmentaciji zelo pomembno tudi strokovno poznavanje problema, ki ga želimo rešiti.

## 5 Sklep

Uporaba segmentacije v geografiji je smiselna, saj omogoča določanje meja v prostoru. Delitev podatkovnih slojev na objekte je namreč podobna človeškemu dojetju pokrajine (Naga Jyothi, Babu in Murali Krishna 2008). Metoda ne poda informacije o tem, koliko so si med seboj podobne enote, ki niso sosednje. To pomeni, da je pri členitvi površja na tipe treba preučiti še značilnosti posamezne enote v primerjavi z ostalimi. Segmentacija je torej predvsem orodje za razmejitev zveznega prostora na bolj ali manj homogene sklenjene enote, torej za določanje meja.

Objektivnost je zaradi uporabnikove nastavitve parametrov sicer zmanjšana, a je hkrati treba poudariti, da nastavitve veljajo enako za vse določene meje. Težava metode je iskanje primernih nastavitve parametrov. Ti so odvisni tudi od namena segmentacije – torej v kakšnem merilu in kako podrobno členitev želimo napraviti.

Z nadmorsko višino in naklonom smo določili homogena sklenjena območja, ki vizualno ustrezajo večjim reliefnim enotam, dinamiko nastavitve pa smo objektivno ocenili z opazovanjem koeficienta variacije.

## 6 Viri in literatura

- Acharya, T., Ray, A. K. 2005: Image processing, Principles and Applications. Hoboken.
- Gams, I. 1986a: Osnove pokrajinske ekologije. Ljubljana.
- Gams, I. 1986b: Za kvantitativno razmejitev med pojmi gričevje, hribovje in gorovje. Geografski vestnik 58. Ljubljana.
- Idrisi Taiga Help System (16.05), 2010. Medmrežje: <http://www.clarklabs.org/support/IDRISI-Taiga-Service-Update-16-05.cfm> (9. 2. 2010).
- Javne informacije Geodetske uprave Republike Slovenije. 2009. Digitalni model višin 25 m.
- Kanjir, U. 2009: Objektna klasifikacija rabe tal iz podatkov daljinskega zaznavanja. Diplomsko naloga. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana.
- Kladnik, D. 1996: Naravogeografske členitve Slovenije. Geografski vestnik 68. Ljubljana.
- Klemenčič, M. M. 2004: Družbenogeografske regionalizacije Slovenije. Teorija in praksa regionalizacije Slovenije. Maribor.
- Lenič, M., Potočnik, B., Zazula, D.: Prototype of intelligent web service for digital images segmentation. Medmrežje: <http://www.cs.feri.uni-mb.si/podrocje.aspx?id=30> (9. 2. 2010).
- Lotufo, R. A., Audigier, R., Saúde, A. V., Machado, R. C. 2008: Morphological Image Processing. Microscope Image Processing. Amsterdam.
- Meinel, G., M. Neubert, 2004: A comparison of segmentation programs for high resolution remote sensing data. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, XXXV (Part B).
- Melik, A., 1946: Prirodnogospodarska sestava Slovenije. Geografski vestnik 18. Ljubljana.
- Mücher, C. A., R. G. H. Bunce, R. H. G. Jongman, J. A. Klijn, A. Koomen, M. J. Metzger, D. M. Wascner 2003: Identification and Characterisation of Environments and Landscapes in Europe. Alterra rapport 832. Wageningen.

- Mücher, C. A., Wascher, D. M., Klijn, J. A., Koomen, A. J. M., Jongman, R. H. G. 2006: A new European Landscape Map as an integrative framework for landscape character assessment. *Landscape Ecology in the Mediterranean, inside and outside approaches*, Proceedings of the European IALE Conference. Faro.
- Naga Jyothi, B., Babu, G. R., Murali Krishna, I. V. 2008: Object Oriented and Multi-Scale Image Analysis: Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats, A Review. *Journal of Computer Science* 4–9.
- Natek, K., 1998: O regionalizaciji Slovenije. *Geografski vestnik* 70. Ljubljana.
- Natek, K., Žiberna, I. 2004: Naravnogeografske regionalizacije Slovenije. *Teorija in praksa regionalizacije Slovenije*. Maribor.
- Perko, D. 1998: The regionalization of Slovenia. *Acta geographica* 38. Ljubljana.
- Perko, D. 2001: Analiza površja Slovenije s stometriskim digitalnim modelom reliefa. *Geografija Slovenije* 3. Ljubljana.
- Perko, D. 2009: Morfometrični kazalniki in enote oblikovanosti površja v Sloveniji. *Geografski vestnik* 81-1. Ljubljana.
- Potočnik, B., Lenič, M. 2008: Fast and Intelligent Determination of Image Segmentation Method Parameters. *New directions in intelligent interactive multimedia*. Berlin.
- Pratt, W. K. 2007: *Digital Image Processing*. Los Altos.
- Slovar slovenskega knjižnega jezika (elektronska izdaja v1.1). Ljubljana.
- Špes, M., Cigale, D., Lampič, B., Natek, K., Plut, D., Smrekar, A. 2002: Študija ranljivosti okolja. *Geographica Slovenica* 35. Ljubljana.
- Wu, Q., Castleman, K. R. 2008: *Image segmentation. Microscope Image Processing*. Amsterdam.





## DIGITALNI MODEL VIŠIN NEKDANJE POKRAJINE – PRIMER LOGAŠKO POLJE (LETO 1972)

**Mateja Breg Valjavec**

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

UDK: 91:551.43:528.74(497.4Logaško polje)

### IZVLEČEK

#### **Digitalni model višin nekdanje pokrajine – primer Logaško polje (leto 1972)**

Z izdelavo fotogrametričnega digitalnega modela višin smo skušali izdelati relief pokrajine v letu 1972. Za določitev zanesljivosti izdelanega DMV-ja in za primerjavo rezultatov smo z interpolacijo vektoriziranih plastnic, določenih s Temeljnim topografskim načrtom v merilu 1 : 5000, izdelali še referenčni DMV. Dobili smo dva časovno primerljiva DMV-ja nekdanjih pokrajin, na katerih smo z robustnimi metodami določili pojav vrtač v izbranem časovnem preseku in ocenili uporabnost izdelanega fotogrametričnega DMV za preučevanje morfoloških značilnosti.

Fotogrametrični DMV se je kot primeren izkazal pri določanju temeljnih morfoloških lastnosti in oblik površja, manj uspešno pa pri določanju posebnih morfoloških oblik, na primer pri določanju vrtač z enostavnimi metodami, saj je glede na primerjavo z rezultati vizualne interpretacije referenčnega DMV-ja njegova uspešnost 41 %.

### KLJUČNE BESEDE

digitalni model višin, nekdanja pokrajina, digitalna fotogrametrija, arhivski aeroposnetki, vrtače, degradacija okolja

### ABSTRACT

#### **The digital elevation model of the past landscape – the case study of Logaško Polje (year 1972)**

With the establishment of the photogrammetric digital elevation model, we will try to present the relief of the former landscape in the year of 1972. For the definition of the representativeness of the DEM and for the comparison of the results, we used a referential DEM, generated with the interpolation of vector contour lines, as part of the Basic topographic maps in the ratio of 1 : 5000. We established two comparable DEMs of former surfaces and on their bases, with the help of robust methods, analyzed the occurrence of dolines in the chosen time period, as well as asses the applicability of the formed photogrammetric DEM for the purpose of studying general and specific morphological characteristics.

Photogrammetric DEM is suitable for determining basic morphological characteristics and forms of the surface. Whereas, with determining of specific morphological forms, as for example karst dolines, regarding the referential DEM, taking into account simple methods of defining dolines, its efficiency is 41 %.

### KEY WORDS

digital elevation model, past landscape, digital photogrammetry, archived aerial photographs, dolines, environmental degradation

## 1 Uvod

Večina kraških reliefnih oblik, ki temeljijo na procesu raztapljanja apnenca, se z naravnimi procesi spreminja zelo počasi. Kot posledica vedno močnejših antropogenih posegov pa se številne reliefne oblike izgublajo in uničujejo. S pregledom različnih prostorskih podatkov, kot so na primer zemljevidi, aeroposnetki, satelitske slike in visoko kakovostni digitalni modeli višin (DMV), je postalo očitno, da so človeški vplivi na zemeljsko površje prisotni že stoletja ali celo tisočletja. S tovrstnimi podatki dobimo neposredne informacije o geometriji površja (lokacija, velikost, sprememba višine) ali posredne informacije o temperaturi, bioaktivnosti in razgibanosti površja. Dodatne informacije pa lahko pridobimo in prikažemo s prostorskimi analizami s pomočjo geografskih informacijskih sistemov (Podobnikar s sodelavci 2008).

Za študijsko območje smo izbrali Logaško polje, kjer so na površju prisotne naravne kotanje, vrtače, v katerih so se desetletja odlagali različni odpadki iz bližnjih naselij in industrije. To so potrdile že prve okoljske raziskave iz zadnje četrtine prejšnjega stoletja (Bricelj 1988; Šebenik 1994), pa tudi novejša (Breg 2007). V okviru slednje smo z metodo vizualne fotointerpretacije vrtač na aeroposnetkih iz druge polovice 20. stoletja za to območje ocenili 77,5-odstotno degradacijo vrtač (Breg 2007).

Skladno s temi rezultati bi v prihodnjih raziskavah želeli določiti še natančno prostornino degradiranih (zasutih) vrtač in s tem količino odloženega odpadnega materiala. V ta namen smo izdelali fotogrametrični DMV (v nadaljevanju DMV72) nekdanjega površja za območje dveh stereoposnetkov in v okviru tega prispevka določili le območja oziroma lokacije vrtač in same možnosti za tovrstne analize. Metodološki pristop je med drugim historično-geografski in smo ga delno povzeli iz nekaterih podobnih okoljskih študij, kot sta recimo rekonstrukcija tridimenzionalnega obsega in površine Triglavskega ledenika v posameznih časovnih obdobjih (Triglav s sodelavci 2000) in primer določanja stopnje odmika klifa v določenem časovnem obdobju na območju kalifornijske obale Conforto Sesto (2004). V obeh primerih so izdelali DMV-je nekdanjih pokrajin iz arhivskih fotografij.

## 2 Postopek izdelave dmv za leto 1972

### 2.1 Fotogrametrija in aerosnemanja

V konvencionalnih fotogrametričnih postopkih se za prostorsko rekonstrukcijo upodobljenih objektov običajno uporabljajo stereofotografije. Stereoeфекt je dosežen, ko se dve fotografiji zadostno prekrivata (običajno 60 do 80 %), optični osi pa ne smeta biti preveč konvergentni (Triglav s sodelavci 2000). Pri izdelavi modelov reliefa za večja območja se poleg letalskih posnetkov uporablja tudi satelitske. Njihova prednost je velika pokritost površja (en sam stereopar), največja pomanjkljivost je prostorska ločljivost, ki pa z uvedbo novih visokoločljivih satelitskih podob ne predstavlja več večje omejitve (Marsetič, Oštir 2007). Digitalna fotogrametrija omogoča natančno pridobitev tridimenzionalnih informacij iz dvodimenzionalnih slik, pri čemer morajo biti poznane vse lastnosti povezane s kamero, posnetkom in posnetim površjem, kar vključuje informacije o notranji in zunanji orientaciji senzorja. Elementi notranje orientacije so ponavadi podani v kalibracijskem poročilu kamere ali senzorja. »... *Elemente notranje orientacije običajno poda proizvajalec fotoaparata, ki izvede laboratorijsko kalibracijo. Čeprav so profesionalni fotoaparati za letalsko snemanje izdelani robustno, se s časom ti parametri spremenijo, zato je treba kalibracijo redno ponavljati v določenem časovnem obdobju, vsaj na tri leta ...*« (Kosmatin Fras 2004).

Kakovostni črno-beli aeroposnetki Slovenije obstajajo že za obdobje 2. svetovne vojne, ko so naše območje letalsko snemali za potrebe bojevanja okupatorji (Nemci) in zavezniki (Angleži). Tudi začetki povojnega daljinskega zaznavanja Slovenije v okviru Vojnogeografskega inštituta Beograd so bili večinoma usklajeni s potrebami jugoslovanske vojske. V začetku 70-ih so postala aerosnemanja Slo-

venije civilna domena pod upravo Geodetske uprave SRS in s tehnično izvedbo Geodetskega zavoda SRS. Sistematično snemanje se v Sloveniji pod naslovom ciklično aerofoto snemanje (CAS) izvaja periodično od leta 1975, ko je bilo prvič posneto celotno območje države v merilu 1 : 17.500.

## 2.2 Izbor aeroposnetkov

Izdelava DMV72 je bila izvedena samo za območje dveh aeroposnetkov. Za podrobnejše analize smo izbrali posnetke iz leta 1972, za katere smo uspeli pridobiti tudi večino parametrov za izdelavo senzorskega modela. V preglednici 1 in na sliki 1 so predstavljene nekatere značilnosti glede snemanja aeroposnetkov (številka 70 in 71), ki sta bila izbrana za izdelavo DMV72.

*Preglednica 1: Tehnični podatki posebnega aerofoto snemanja (PAS), Vrhnika, 1972, povzeti iz snemalnega lista številka 9 (Geodetska uprava SRS).*

---

datum snemanja	3. april 1972
platforma	Morava L-200, YU-BB12
višina leta	2290 m
merilo posnetkov	1 : 15.000
instrument	Kamera WILD RC-8
format	23 × 23 mm
objektiv	90
goriščnica	152 mm
preklop	60 %

---

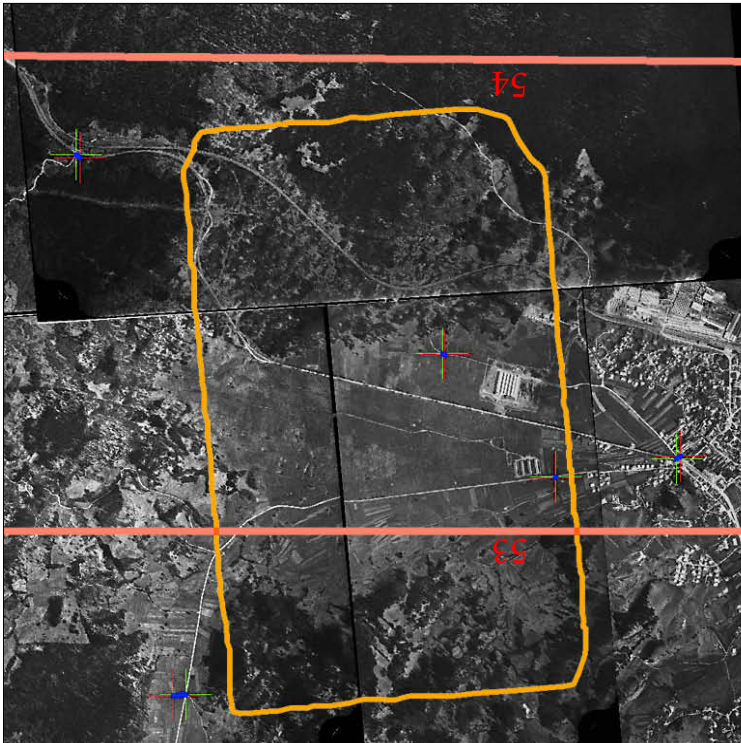
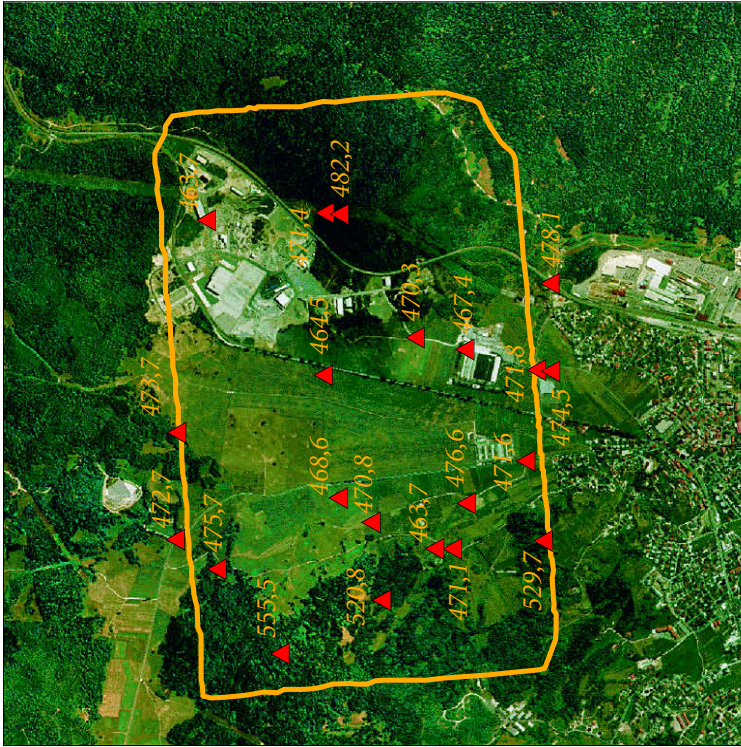
## 2.3 Vzpostavitev stereoeфекta

Vzpostavitev stereoeфекta iz dveh prekrivajočih se fotografij zahteva določitev elementov notranje in zunanje orientacije. Elementi notranje orientacije pri aeroposnetkih vključujejo goriščno razdaljo (goriščnica), distorzijo leč, koordinate robnih mark in drugo. Če kakšni podatki notranje orientacije manjkajo, kot se lahko zgodi v primeru arhivskih posnetkov, je možno uporabiti metode aerotriangulacije, s katerimi dopolnimo manjkajoče podatke. Za PAS 1972 smo uspeli dobiti kalibracijsko poročilo kamere WILD RC-8, kar smo vključili v senzorski model.

Iz fotogrametričnih stereoposnetkov lahko rekonstruiramo le relativne dimenzije upodobljenih objektov. Za pridobitev absolutnih koordinat moramo poznati dovolj veliko število točk z znanimi prostorskimi koordinatami (oslonilne točke). Rezultate v prostorskem koordinatnem sistemu (lokalnem ali referenčnem) dobimo s postopki zunanje orientacije posnetkov (Triglav s sodelavci 2000). Oslonilne točke so osnova za vzpostavitev pravilnih geometričnih razmerij med koordinatnim sistemom slike, koordinatnim sistemom kamere in koordinatnim sistemom površja. Stavbe v Logatcu, ki so se ohranile od leta 1972 do danes, so primerne za oslonilne točke. Tridimenzionalne referenčne koordinate enaindvajsetih oslonilnih točk (X in Y koordinati Gauss-Krügerjevega koordinatnega sistema) smo določili iz digitalnega ortofoto načrta (Geodetska uprava Republike Slovenije 2006). Z DMV 12,5 (Geodetska uprava Republike Slovenije 2005) smo določili tretjo (Z) koordinato oslonilne točke, nadmorsko višino.

*Slika 1: Preučevano območje Logatca na aeroposnetkih iz leta 1972 (levo) in na DOF-u iz leta 2006 (desno) z 21 oslonilnimi točkami (Geodetska uprava Republike Slovenije 2006). ► (str. 68)*

*Slika 2: Relief Logatca z okolico v letu 1972 na DMV72, prikazan s kombinacijo senčenja in hipsometrično lestvico. ► (str. 69)*



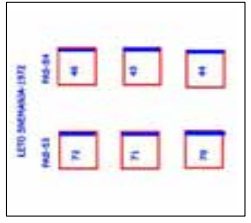
— POSEBNO AEROSNEMANJE 1972 – LINIJI SNEMALNIH PASOV ŠTEVILKA 53 IN 54

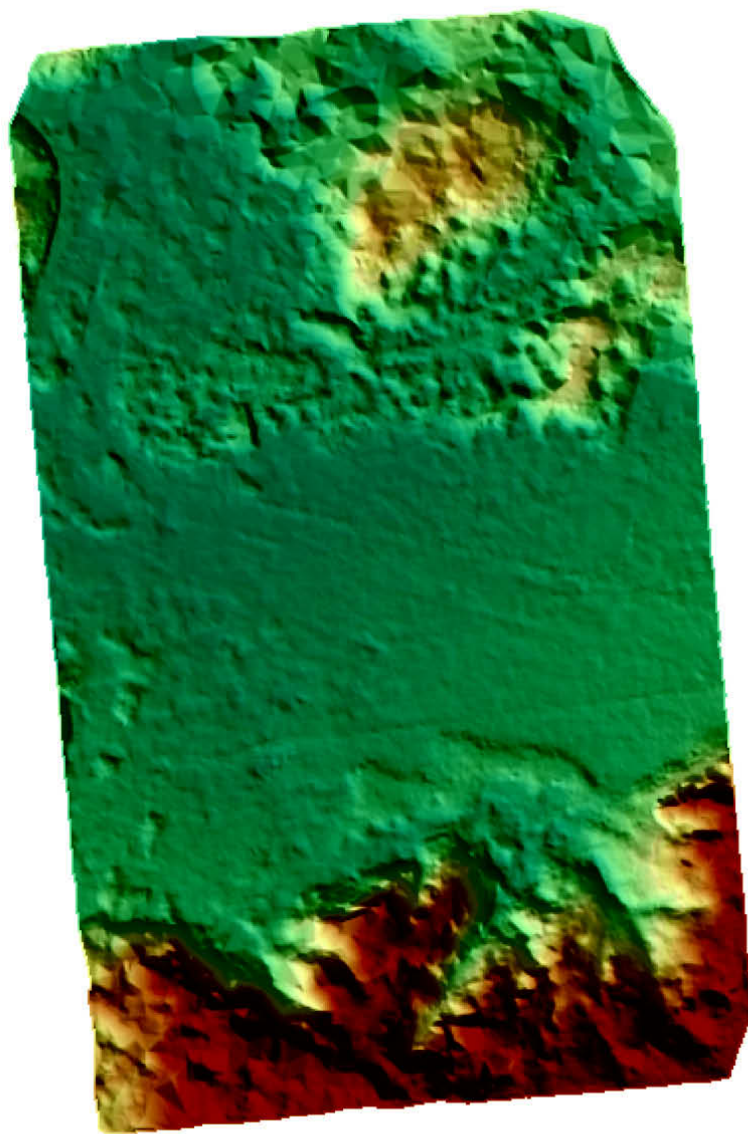
□ OBMOČJE PREKRIVANJA IZBRANIH STEREOPOSNETKOV ŠTEVILKA 70, 71 IN OBMOČJE DMV72

▲ OSLONILNE TOČKE Z NADMORSKO VIŠINO (m)

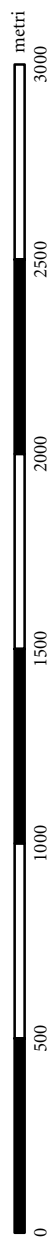


Avtorica zemljevida: Mateja Breg Valjavec  
 © GJAM ZRC SAZU 2010. Vir: Posebno aerofoto snemanje, Vrhnika 1972, © GURS 2009; DOF: 2006, © GURS.





DMV72 PREDSTAVLJA RELIEF NEKDANJE POKRAJINE (leto 1972)



554,6

nadmorska višina (m)

461,5

Avtorica zemljevida: Mateja Breg Valjavec; © GIAM ZRC SAZU 2010  
Vir: Posebno aerofoto snemanje, Vrhnika, 1972 © GURS 2009

Za izvedbo natančne aerotriangulacije smo določili še tako imenovane vezne točke (*tie points*), na prekrivajočih se območjih stereoposnetkov. Vezna točka je točka, katere referenčnih koordinat ne poznamo, so pa vizualno razpoznavne na vseh prekrivajočih se posnetkih. Točke morajo biti homogeno razporejene po celotnem območju, da zagotovimo večjo natančnost rezultatov (Triglav s sodelavci 2000). Pri tem se uporabijo različne metode digitalnega ujemanja prekrivajočih se slik (na primer primerjava svin, vzorcev). Zaradi številnih manjkajočih parametrov zunanje orientacije (na primer koordinate perspektivnega centra, podatki o kotih) smo na podlagi čim natančnejših koordinat oslonilnih in izbranih veznih točk izvedli postopek samodejne kalibracije (*self-calibrating bundle block adjustment*) in pridobljene podatke vključili v postopek aerotriangulacije.

## 2.4 Avtomatsko določanje višin in interpolacija DMV72

Na podlagi izdelanega senzorskega stereomodela smo z avtomatskim tridimenzionalnim merjenjem slike določili značilnosti površja na območju stereoposnetkov. Pri stereometriji določamo višine površja (relativne in absolutne višine) na podlagi razlike med posnetkoma istega površja, posnetima iz dveh različnih kotov gledanja. Višinske razlike površja pridobivamo z odpravljanjem horizontalne paralakse (Triglav Čekada 2004). Pri tem se uporabljajo digitalne metode ujemanja slik, kot na primer avtokorelacija, ki deluje na principu samodejnega iskanja in merjenja lokacij skupnih točk zemeljskega površja, ki se pojavijo na obeh prekrivajočih se posnetkih. Končni rezultat je veliko število enakomerno porazdeljenih tridimenzionalnih točk. Iz točkovnega oblaka smo z metodo interpolacije najbližjega soseda (*nearest neighbour*) izdelali rastrski DMV72 z ločljivostjo 5 m (slika 2).

## 3 Uporabnost DMV72

### 3.1 Določanje splošnih morfometričnih lastnosti površja

Ločimo splošne morfometrične lastnosti površja, ki temeljijo na analizi višin celic na določeni prostorski enoti, in posebne morfometrične lastnosti površja, ki temeljijo na posebnih, vnaprej določenih razmestitvah višin celic in se kažejo v značilnih oblikah površja, kot so slemena, vrhovi, kotline in podobno (Hrvatina in Perko 2008). Za splošno primerjavo rastrskih slik, tudi DMV-jev, je najlažje uporabiti osnovne matematične funkcije, kot so seštevanje, odštevanje, množenje in deljenje rastrskih slojev oziroma vrednosti prekrivajočih se celic. »... *Numerične analize in vizualne analize vizualizacije DMV-jev lahko pomagajo pri prepoznavanju in odkrivanju oblik površja, kot so grebeni, vrhovi, doline, vrtače...*« (Podobnikar in Možina 2008, 30).

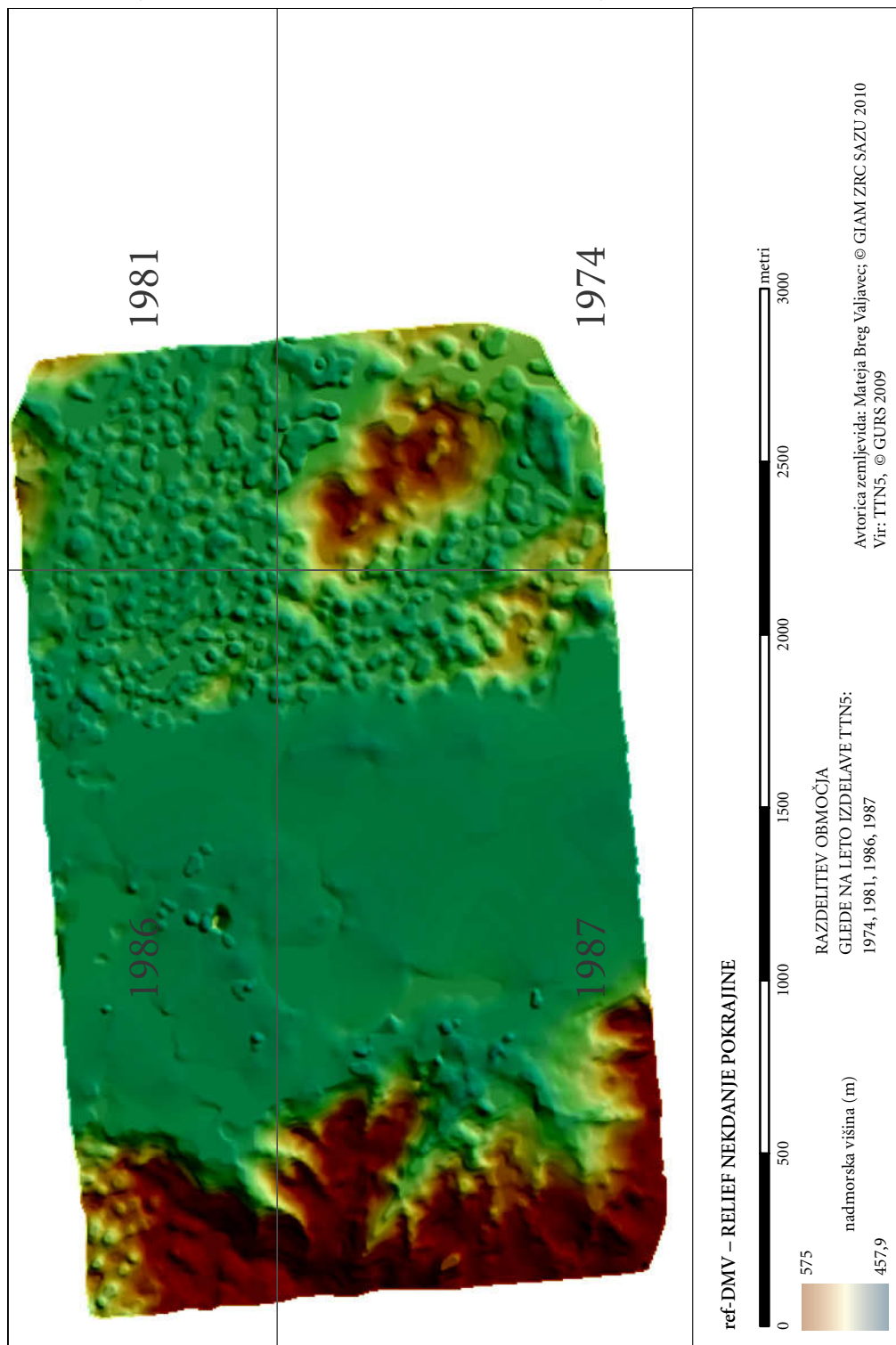
Z vidika določanja reprezentativnosti in uporabnosti DMV72 smo za preučevano območje izdelali referenčni DMV (v nadaljevanju ref-DMV) nekdanjega površja na podlagi TTN5. Plastnice in pomembne reliefne točke smo digitalizirali ter nato z interpolacijo (*nearest neighbour*) izdelali DMV z ločljivostjo 5 m. Ref-DMV časovno in metodološko ni homogen zaradi vhodnih podatkov. Podatki o nadmorskih višinah so povzeti iz štirih listov TTN5, ki so bili narejeni v letih 1974, 1981, 1986 in 1987 (slika 3). Kot edini razpoložljiv DMV tedanje pokrajine smo ga uporabili za primerjavo z DMV72.

Ocenili smo osnovne razlike v reliefih. Najnižja nadmorska višina DMV72 je 461,45 m (ref-DMV 457,94 m) in najvišja pa 555,34 m (ref-DMV 575 m). Povprečna nadmorska višina je 477,23 m (ref-DMV 481,92 m). V nadaljevanju smo določili prostorsko razporeditev razlik v reliefih. Od vrednosti celic ref-DMV smo odšteli vrednosti DMV72 in določili območja pozitivnih in negativnih razlik

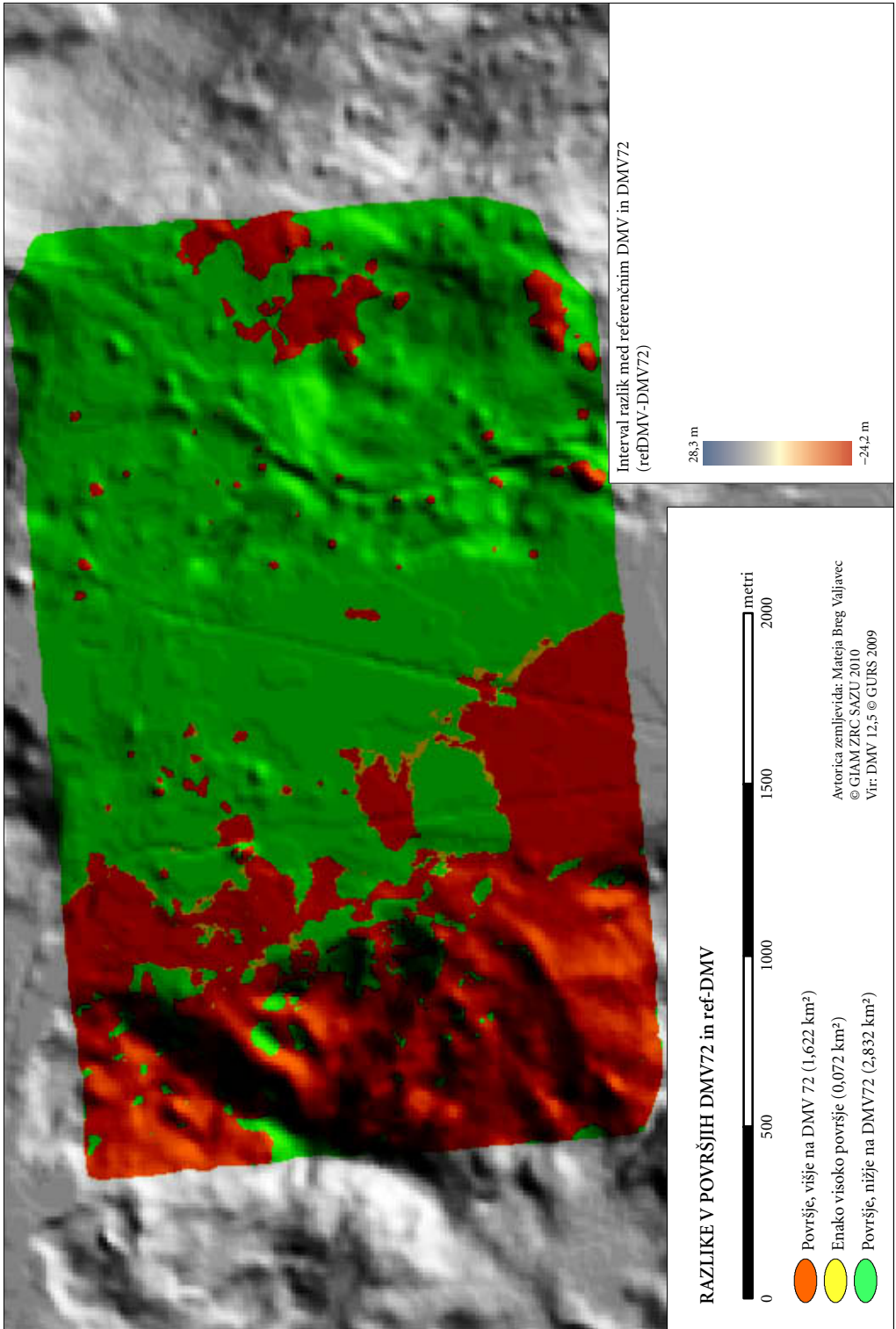
Slika 3: Površje Logatca z okolico v obdobju 1974–1987 na ref-DMV. ► (str. 71)

Slika 4: Območja razlik med površjem DMV72 in površjem na ref-DMV. ► (str. 72)

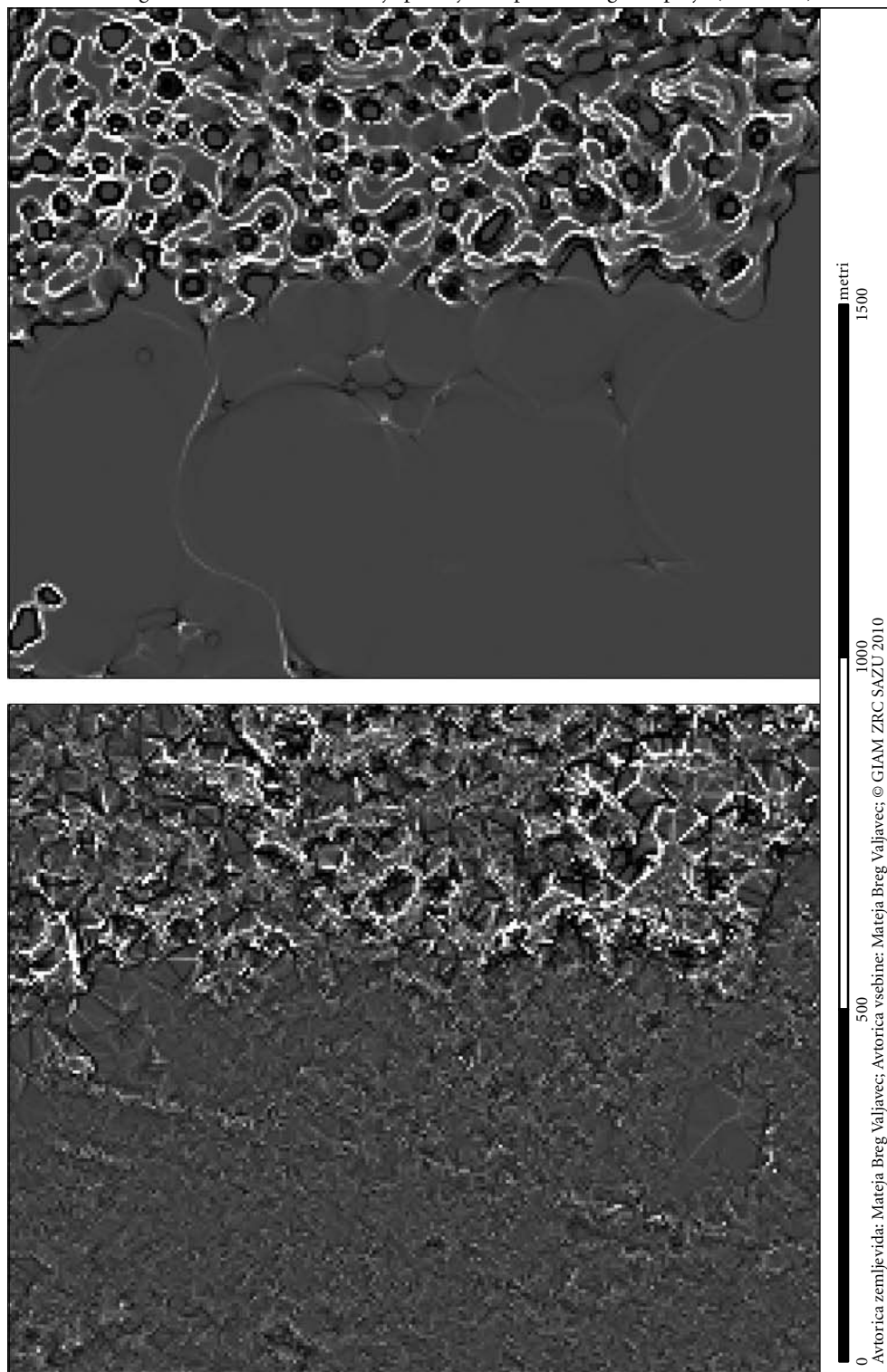
Slika 5: Ukrivljenost površja kot rezultat analize DMV72 (levo) in ref-DMV (desno). ► (str. 73)







Digitalni model višin nekdanje pokrajine – primer Logaško polje (leto 1972)



v površju (slika 4). Prikazane razlike v površjih DMV-jev obsegajo vrednosti na razponu od  $-24,2$  do  $28,3$  metra. Okrog  $62\%$  površja na DMV72 je nižje in  $35,3\%$  površja višje od površja ref-DMV. V razred ujemajočih se višin ( $0,5$  m) pade samo  $2,7\%$  površja. Sklepamo, da izračunane razlike niso toliko posledica dejanskih razlik v površju, ampak v različnih metodah in tehnikah izdelave DMV-jev. Pri izdelavi DMV72 še tudi ni bil ocenjen vpliv vegetacije (gozda) na višino.

V okviru splošnih morfometričnih značilnosti smo primerjali tudi naklone površja. Povprečen naklon ref-DMV ( $8,38^\circ$ ) je skoraj dve stopinji strmejši od DMV72 ( $6,66^\circ$ ). Površje ref-DMV je tudi bolj razgibano, kar se odraža v maksimalnem naklonu  $62,88^\circ$ , ki je na DMV72 občutno nižji  $58,82^\circ$ . Ta značilnost se kaže tudi pri določanju podrobnejših reliefnih oblik (vrtač), ki imajo izrazitejša naklone glede na okoliško površje. Ukrivljenost (kurvatura) površja opisuje prostorsko spreminjanje nagnjenosti površja (Perko 2007), zato je primerna tudi pri določanju vrtač. Iz same vizualne primerjave ukrivljenosti površja (slika 5) lahko sklepamo, da bo preučevanje podrobnejših reliefnih značilnosti s pomočjo DMV72 zahtevalo dodatne izboljšave pri sami izdelavi DMV72 in tudi preizkušanje natančnih geomorfometričnih metod.

Na podlagi vizualne primerjave izbranih DMV-jev in iz rezultatov analize splošnih morfometričnih značilnosti (višina, naklon, ukrivljenost) je razvidno, da je ref-DMV sicer bolj podroben od DMV72, vendar pa je le-ta ustrezen in dovolj natančen za določanje splošnih morfometričnih lastnosti.

### 3.2 Določanje posebnih morfometričnih lastnosti površja – primer vrtač

Ker želimo v nadaljevanju podrobneje preučevati pojav vrtač v nekdanjih pokrajinah, smo preučili možnosti določanja lokacij vrtač na DMV72. Samo določanje lokacij vrtač na DMV je možno z različnimi analizami reliefa. Najbolj natančne so geomorfometrične analize, ki temeljijo na geomorfometričnih parametrih (naklon, ukrivljenost in topografska odprtost). Za natančnejšo klasifikacijo geomorfoloških oblik uporabimo dodatne (npr. hidrološke) parametre, kot je recimo akumulacija vodnega toka za določanje reliefnih oblik, povezanih s fluvialnimi procesi (Anders s sodelavci 2009).

Pri določanju lokacij vrtač smo izbrali enostavno metodo, ki temelji na iskanju kotanj oziroma depresij v površju. V prvem delu algoritma pregleda celotno površje DMV in na podlagi računanja vrednosti različnih morfološko-hidroloških funkcij (koncentriranost toka, smer toka, določanje konkavnih oblik, porečij itd.) določi in hkrati zapolni vbočene dele površja do posebej določene globine/višine (Tarboton s sodelavci 1991). Deluje po sistemu zapolnitve vbočenih delov površja do določene kvantitativno določene meje in se ponavlja dokler niso vse kotanje znotraj te višinske meje zapolnjene. Površje na tak način zgladimo in od njega odštejemo prvotno neizglajeno površje. Rezultat so območja vbočenega in izbočenega površja v obliki večjih sklenjenih območij kotanj, kakor tudi posameznih kotanj, odvisno od gostote in velikosti vrtač.

Kot referenčno število o dejanskem stanju vrtač smo uporabili podatke o vrtačah, ki so označene na TTN5. Kot je bilo že omenjeno v prispevku, tudi ta vir zaradi zastarelosti izdelave predstavlja nekdanjo pokrajino. Z vizualno interpretacijo TTN5 smo na  $4,6$  km<sup>2</sup> površine določili 541 poligonov vrtač, kar pomeni 117 vrtač na km<sup>2</sup>. Na gostoto, obliko in velikost vrtač poleg litološke osnove vplivajo tudi splošne morfometrične značilnosti površja, predvsem naklon in ekspozicija (Ravbar in Zorn 2003). Osnovne značilnosti 541 vrtač prikazuje preglednica 2.

*Preglednica 2: Osnovne značilnosti vrtač na preučevanem območju (TTN5, Geodetska uprava RS).*

parameter vrtač	površina vrtač (m <sup>2</sup> )	obseg vrtač (m)
najnižja vrednost (posamezna vrtača)	35,9	22,3
najvišja vrednost (posamezna vrtača)	7107,9	319,4
povprečna vrednost	550	79,8
skupna vrednost	297.623	43.179

V nadaljevanju smo vrtače določali na obeh DMV-jih nekdanje pokrajine. Glede nato, da je ref-DMV izdelan iz TTN5, bi moralo biti število vrtač enako kot na TTN5. Vendarle pa je rezultat odvisen od uporabljene metode. Z izbrano metodo avtomatskega izločanja kotanj je bilo pri analizi ref-DMV določenih 506 od skupno 541 vrtač (slika 6). Uspešnost izbrane metode je 93,5 %, zato smo jo preizkusili še na DMV72.

Pri analizi DMV72 je bilo določenih 224 od 541 vrtač (slika 7). Uspešnost izbrane metode na DMV72 je s tem 41,4 %. S tem ugotovljamo, da je fotogrametrični DMV72 za preučevanje podrobnejših reliefnih značilnosti, kot so vrtače, manj primeren. Glede na ref-DMV smo dobili slabše rezultate na območjih, ki so bila že leta 1972 poraščena z gozdom. Z vidika metode izdelave fotogrametričnega DMV-ja so gozdnata območja nedvomno šibka točka saj so to območja, kjer je zelo težko najti ustrezne (v pretekli in današnji pokrajini določljive) in natančne oslonilne točke.

## 4 Sklep

Iz dveh prekrivajočih se aeroposnetkov, posnetih leta 1972, smo z uporabo osnovnih digitalnih fotogrametričnih metod izdelali DMV72, ki predstavlja površje nekdanje pokrajine Logatca z okolico. DMV72 je osnova za nadaljnjo izdelavo DMV-ja večjega območja nekdanje pokrajine, ki ga želimo uporabiti za preučevanje nekdanjih odlagališč odpadkov (starih okoljskih bremen). Skladno s slednjim je treba izdelati geomorfolško natančnejši DMV, ki bo zagotavljal določanje volumetričnih sprememb za določitev količine odloženega zasipnega materiala v posamezni vrtači. Z analizo splošnih in podrobnih morfometričnih značilnosti smo ocenili kakovost DMV72 ter njegovo primernost za geomorfološke in v nadaljevanju pokrajinskoekološke analize nekdanje pokrajine.

Ugotavljamo, da je DMV72 dovolj natančen za določanje splošnih značilnosti, medtem ko je za določanje posebnih morfometričnih značilnosti, ocenjenih na primeru vrtač, le delno uporaben. Njegova uporabnost je boljša na območjih z manjšo gostoto večjih, izrazitejših vrtač. Glede na dobljene rezultate vidimo, da so možnosti za boljše določanje vrtač v nekdanji pokrajini tako na področju izdelave DMV nekdanje pokrajine kakor tudi na področju natančnih, ciljno usmerjenih geomorfometričnih metod.

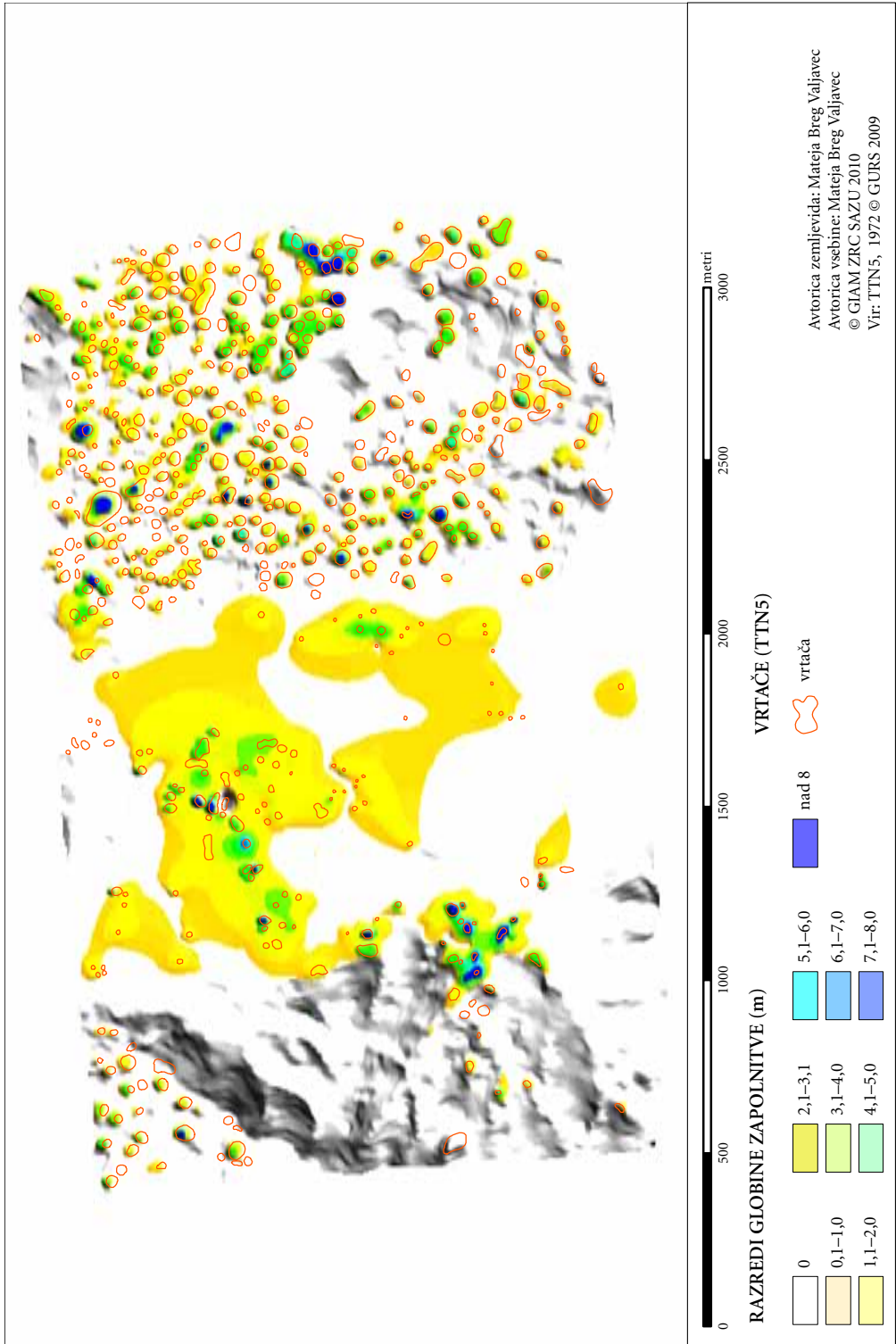
Predvidevamo, da lahko DMV izboljšamo z upoštevanjem in preizkusom sledečih dejstev:

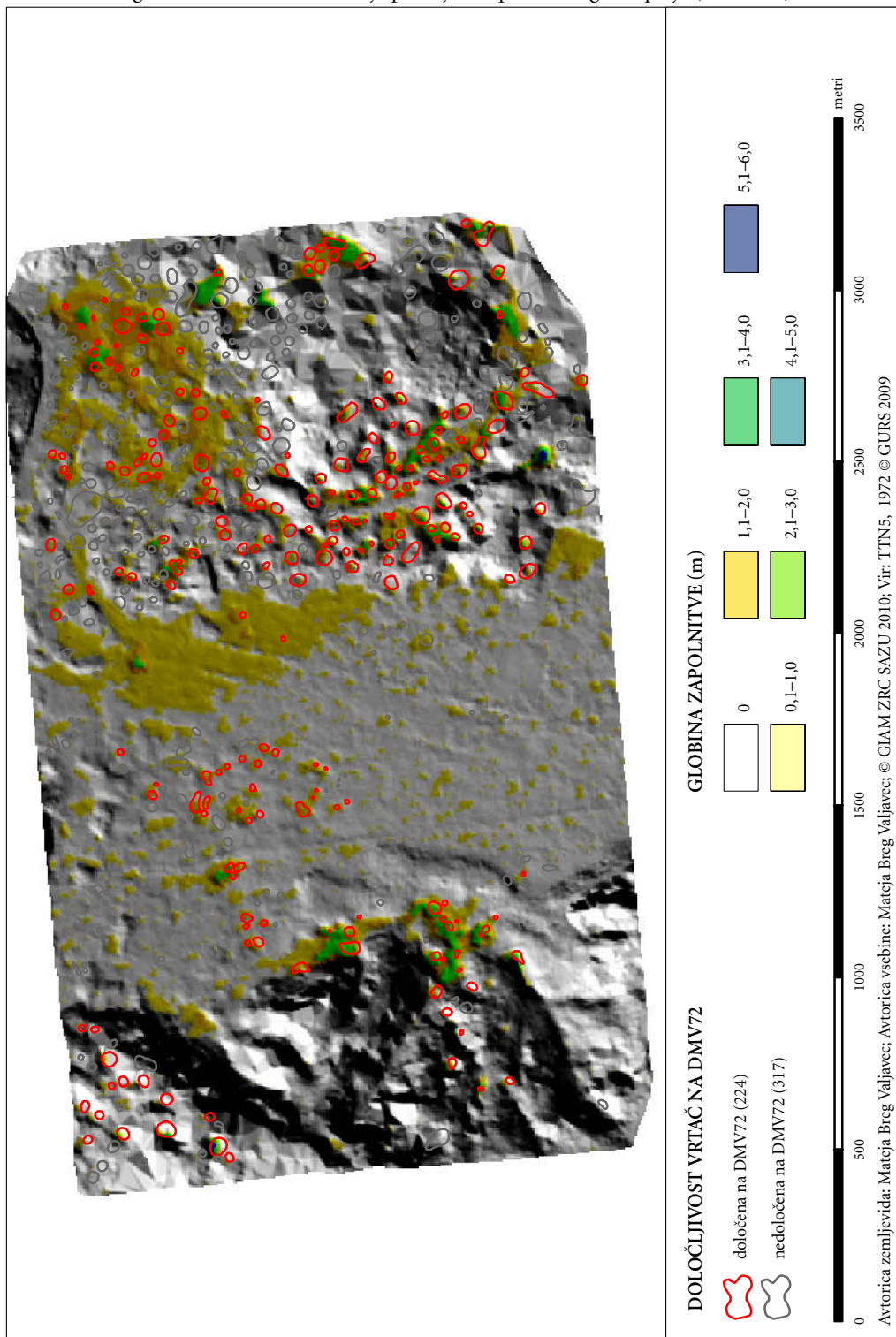
- uporabiti aeroposnetke v večjem merilu;
- izdelati stereomodel iz večjega števila aeroposnetkov, ki se prekrivajo tako v smeri leta kakor vzdolžno (prekrivanje snemalnih pasov), s tem pa prekrijemo več posnetkov na istem območju in dobimo več vhodnih podatkov;
- digitalne podobe/aeroposnetke je treba predhodno s postopkom predobdelave in izboljšave izboljšati predvsem z vidika interpretativne natančnosti (barva, kontrast, svetlost);
- izbrati natančnejši način za določitev koordinat oslonilnih točk (določitev koordinat na terenu s pomočjo GPS);
- moramo se zavedati, da so bile višine oslonilnih točk določene iz DMV 12.5, s postopkom izdelave le-tega, že interpolirane na 12,5 m mrežo, zato vsebujejo določeno napako;
- treba je preizkusiti različne metode interpolacije (kriging) in izbrati najprimernejšo;
- preučiti možnosti za izboljšanje natančnosti višinskih podatkov na območjih z gozdom (npr. izdelava maske gozda);
- drugo.

Vsekakor je izdelava DMV-ja precej zamudna in zahteva ogromno fotogrametričnega znanja in izkušenj. Analize ciljno izdelanih fotogrametričnih DMV-jev so zato do neke mere nekonkurenčne sofisticiranim analizam lidarskih DMV-jev, ki jih lahko naročimo za današnje površje. Ravno to pa je v primeru


*Slika 6: Rezultat določanja vrtač na ref-DMV. ► (str. 76)*


*Slika 7: Rezultat določanja vrtač na DMV72. ► (str. 77)*





**DOLOČLJIVOST VRTAČ NA DMV72**

 določena na DMV72 (224)

 nedoločena na DMV72 (317)

**GLOBINA ZAPOLNITVE (m)**

 0

 1,1–2,0

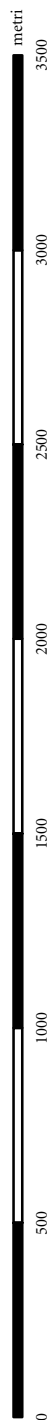
 3,1–4,0

 5,1–6,0

 0,1–1,0

 2,1–3,0

 4,1–5,0



Avtorica zemljevida: Mateja Breg Valjavec. Avtorica vsebine: Mateja Breg Valjavec; © GIAM ZRC SAZU 2010; Vir: ITN5, 1972 © GURS 2009

naše raziskave pomanjkljivost slednjih. Z lidarskim DMV-jem lahko značilnosti nekdanje pokrajine preučujemo le posredno prek določanja posledic, ki so določljive v današnji pokrajini. Z dodelanimi metodami izdelave DMV-jev nekdanjih pokrajin ter z uporabo starejših, dovolj natančnih, ohranjenih in kvalitetnih stereoposnetkov, na primer PAS iz 60-ih ali 50-ih let, bi dobili vsebinsko boljše podatke, saj je na starejših posnetkih prisotnih večje število vrtač, ki pa s približevanjem sedanjosti, zaradi neprekinjene degradacije, strmo pada. Nedvomno arhivski areoposnetki nudijo izzive za različne raziskave na področju geomorfologije, varstva okolja, gozdarstva, kmetijstva, arheologije in tudi povsem družbeno-gospodarskih strok.

## 5 Viri in literatura

- Anders, N. S., Seijmonsbergen, A. C., Bouten, W. 2009: Multi-Scale and Object-Oriented Image Analysis of High-Res LiDAR Data for Geomorphological Mapping in Alpine Mountains. Proceedings of Geomorphometry 2009. Zürich.
- Breg M. 2007: Degradacija vrtač na Logaškem polju (Slovenija). Acta Carsologica 36-2. Postojna.
- Bricelj, M. 1988: Popis odlagališč odpadkov in pokrajinsko-ekološki vidiki izbora alternativnih lokacij za urejeno odlaganje smeti v občini Logatec. Ljubljana.
- Conforto Sesto, J.R. 2004: Erosion in south Monterey bay. Magistrska naloga, Naval Postgraduate School. Monterey.
- Hrvatini, M., Perko, D. 2008: Morfološka analiza površja z geografskim informacijskim sistemom. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008. Ljubljana.
- Kokalj, Ž., Oštir, K., Zakšek, K. 2008: Uporaba laserskega skeniranja za opazovanje preteklih pokrajin – primer okolice Kobarida. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008. Ljubljana.
- Kosmatin Fras, M. 2004: Vpliv kakovosti vhodnih podatkov na kakovost ortofota. Geodetski vestnik 48-2. Ljubljana.
- Kvamme, K., Oštir–Sedej, K., Stančič, Z., Šumrada, Z. 1997: Geografski informacijski sistemi. Ljubljana.
- Marsetič, A., Oštir, K. 2007: Uporaba satelitskih posnetkov SPOT za izdelavo ortopodob. Geodetski vestnik 51-1. Ljubljana.
- Perko, D. 2007: Morfometrija površja Slovenije. Ljubljana.
- Podobnikar, T., Možina, P. 2008: Analiza oblik površja z uporabo lokalnega okna. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008. Ljubljana.
- Podobnikar, T., Schöner, M., Jansa, J., Pfeifer, N. 2008: Spatial analysis of anthropogenic impact on karst geomorphology (Slovenia). Environmental Geology. Berlin.
- Ravbar, N., Zorn, M. 2003: Some characteristics of dolines on the Karst plateau in southwestern Slovenia. Geomorphologia Slovaca. Bratislava.
- Šebenik, I. 1994: Pokrajinske značilnosti manjših neurejenih odlagališč odpadkov v Sloveniji. Geographica Slovenica 26-1. Ljubljana.
- Tarboton, D. G., Bras, R. L., Rodriguez-Iturbe, I. 1991: On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data. Hydrological Processes. New York.
- Triglav Čekada, M. 2004: Izdelava digitalnih modelov reliefa planetov s poudarkom na klinometriji. Geodetski vestnik 48-3. Ljubljana.
- Triglav, M., Kosmatin Fras, M., Gvozdanovič, T. 2000: Spremljanje površja ledenikov s fotogrametrijo, študija na primeru Triglavskega ledenika. Geografski zbornik 40. Ljubljana.
- TTN5 (za preučevano območje), 1974, 1981, 1986 in 1987, Geodetska uprava Republike Slovenije.

## LIDAR IN GEOARHEOLOGIJA ALUVIALNIH POKRAJIN

**dr. Dimitrij Mlekuz**

*Department of Archaeology and ancient history of Europe, Faculty of Arts and Philosophy, Ghent University, Belgija*

*dimitrij.mlekuz@UGent.be*

UDK: 528.8.044.6:902(497.433)

### IZVLEČEK

#### **Lidar in geoarheologija aluvialnih pokrajin**

*Članek je primer uporabe lidarja pri geoarheoloških raziskavah aluvialnih pokrajin. Na študijskem primeru Vrbine, poplavne ravnice Save med Krškimi in Brežicami, pokažemo na možnosti uporabe lidarja za identifikacijo in kartiranje značilnosti poplavne ravnice, ugotavljanje sosledja sprememb pokrajine, kartiranje potenciala za ohranjanje arheoloških in paleoekoloških zapisov in identifikacijo morebitnih arheoloških struktur.*

### KLJUČNE BESEDE

*lidar, GIS, arheologija, geoarheologija, poplavna ravnica, Sava*

### ABSTRACT

#### **LiDAR and geoarchaeological research of alluvial landscapes**

*Paper tackles the application of LiDAR in the geoarchaeological research of alluvial landscapes. Through the example of the Vrbina, the floodplain of river Sava between Krško and Brežice, it demonstrates the use of LiDAR in identification of floodplain features, investigation of landscape changes, assessment of the potential for the preservation of archaeological and environmental remains, recognition of the areas suitable for past settlement and pinpointing of archaeological features.*

### KEY WORDS

*LiDAR, GIS, archaeology, geoarchaeology, floodplain, Sava river*



## 1 Uvod

Geoarheologija je multidisciplinaren pristop k študiju naravnih procesov, ki vplivajo na nastanek in preoblikovanje arheoloških pokrajin in najdišč (Goldberg in Macphail 2007). S pomočjo tehnik daljinskega zaznavanja, računalniške kartografije, geografskih informacijskih sistemov ter terenskih in laboratorijskih metod pomaga rekonstruirati pretekle pokrajine in razumeti naravne procese, ki so jih preoblikovali.

Lidar je orodje s katerim je moč zelo natančno izmeriti zemljino površje. Omogoča opazovanje sledov, brazgotin in odtisov naravnih in antropogenih procesov na površini tal. Lidar je tako odlično orodje za preučevanje arheoloških pokrajin, še posebej to velja za stabilne pokrajine, kjer je palimpsest človeških aktivnosti dobesedno odtisnjen na površini pokrajine in kjer je ritem naravnih procesov spreminjanja krajine v primerjavi z antropogenimi aktivnostmi zelo počasen. V takih pokrajinah je raba lidarja relativno enostavna (prim. Bewley in sodelavci 2005). Uporaba lidarja pri preučevanju pokrajin, kjer dinamika geomorfoloških procesov dolgoročno zasenči človeško delovanje, pa je bolj problematična. Ker gre za pokrajine, kjer so sledovi preteklih človeških aktivnosti zabrisani, preoblikovani, uničeni ali pokopani, jih z lidarjem ne moremo odkriti. Vendar nam lidar omogoča razumeti površinski zapis, ki je posledica predelave, uničenja ali prekritja starejših krajin in tako pomaga razumeti zakaj vidimo le to, kar vidimo.

Čeprav z lidarjem preučujemo »le« površino pokrajine, poskušam pokazati, da je z njegovo pomočjo moč razumeti tudi zaporedje procesov, ki so to površje oblikovali. V članku predstavljam uporabo lidarja pri preučevanju poplavne ravnice Save med Krškimi in Brežicami, t. i. Vrbine. Cilj raziskave je bila predvsem identifikacija in kartiranje značilnosti poplavne ravnice in rečnih teras, s katerimi bi lahko ugotavljali posledje sprememb pokrajine, ugotavljanje potenciala za ohranjanje arheoloških in paleoekoloških zapisov, identifikacija prostorov, ki bi lahko bili zanimivi za preteklo poselitev in identifikacija morebitnih arheoloških struktur.

## 2 LiDAR in gearheologija

Lidar je pomembno orodje, ki ga že desetletje uporabljajo pri geomorfoloških prospekcijah in preučevanju poplavnih ravnin ter napovedih poplav (Lohani and Mason 2001; Charlton in sodelavci 2003; Cobby in sodelavci 2001; Marks in Bates 2000; Challis 2005; 2006; Jones in sodelavci 2007). Rezultat obdelave oblaka točk je običajno rastrski podatkovni sloj, ki zelo natančno opisuje površino (digitalni model površja) ali tla (digitalni model terena), in odraža tudi najmanjše variacije v topografiji (od nekaj centimetrov do nekaj deset centimetrov), ki so posledica geomorfoloških ali antropogenih procesov. V nalogi smo uporabili digitalni model terena prostorske ločljivosti 1 m.

Ogromna količino in gostoto podatkov, ki jo pridobimo z lidarjem, še vedno najboljše obvladujemo in predstavljamo s pomočjo vizualiziranja (prim. Kalawsky 2009). Ker so rastrski sloji, izdelani iz Lidar podatkov, »le« zelo natančni modeli višin, lahko uporabimo ves nabor orodij, ki so na voljo za morfometrične analize digitalnih modelov višin, kot so na primer usmeritev rastrskih celic, ukrivljenost, konveksnost, konkavnost, teksturne značilnosti površja. Pri analizi poplavnih ravnin je zelo koristna izdelava presekov, ki omogočajo identifikacijo zaporedja teras in njihove oblike ter relativne globine opuščenih korit. Te operacije običajno izvedemo v geografskih informacijskih sistemih, ki ne omogočajo le interpoliranja, manipuliranja, analize in vizualizacije podatkov, temveč tudi združevanje z drugimi vrstami podatkov (geološke karte, historični zemljevidi, distribucija arheoloških najdišč, aerofotografije ipd.) in izdelavo novih, iz digitalnih modelov izpeljanih slojev, bodisi s pomočjo analitičnih tehnik ali ročne digitalizacije.

Vektoriziranje, spreminjanje zveznih rastrskih podatkov v diskretne vektorske, je povezano z vrsto težav, ki izhajajo iz prevajanja kompleksnih geomorfoloških in arheoloških značilnosti iz zveznih

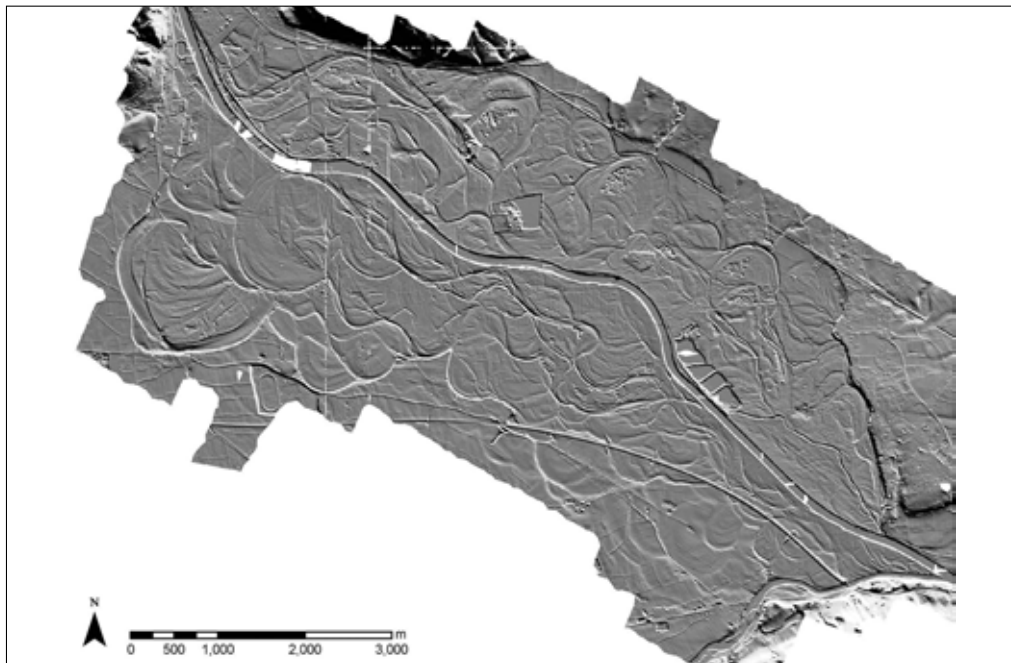
rastrskih podatkov v diskretni vektorski sloj ali risbo. Vektorski sloji pridobljeni z vektorizacijo rastrskih slojev so tako v najboljšem primeru generalizirane interpretacije, ki lahko služijo zgolj za opozarjanje na nekatere značilnosti topografije in jih je potrebno uporabljati skupaj z izvornimi podatki.

Kljub možnosti, ki jih ponujajo analitični moduli GIS pri obdelavi in analizi rastrskih slojev, izpeljanih iz lidar podatkov, nas te možnosti ne smejo zavesti. Samodejno luščenje geomorfoloških ali arheoloških značilnosti s pomočjo različnih filtrov se je pokazalo kot neproduktivno (saj pogosto odkriva le najočitnejše značilnosti) ali celo nemogoče. Najhitrejši in najučinkovitejši način luščenja informacij je – podobno kot pri arheološki interpretaciji aerofotografij – analiza in interpretacija izkušenega analitika (prim. Barnes 2003). Analiza in interpretacija Lidar posnetkov je prav zaradi kompleksnosti in količine podatkov veščina, ki so je potrebno priučiti in ne serija mehanskih pravil.

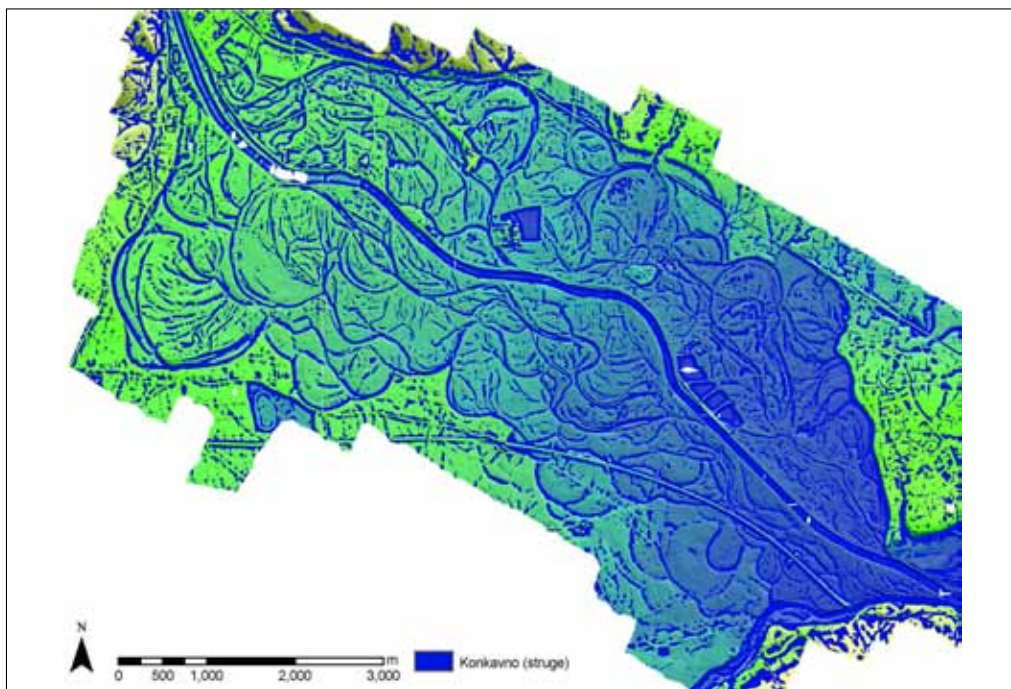
### 3 Geoarheologija Vrbine

Vzhodni del Krške kotline, Krško polje, je v celoti prekrit s prodnimi savskimi zasipi, ki ležijo v superpoziciji ali neposredno na terciarnih sedimentih. Ločimo tri zasipe in štiri terase. Najmlajša terasa (t. i. Vrbina) je holocenska, vrezana v pleistocenske prodne zasipe, ki sestavljajo teraso iz zadnje ledeno dobe (Osnovna geološka karta 1979, list Zagreb 1979; Verbič in Berič 1993–1994, Verbič 2004).

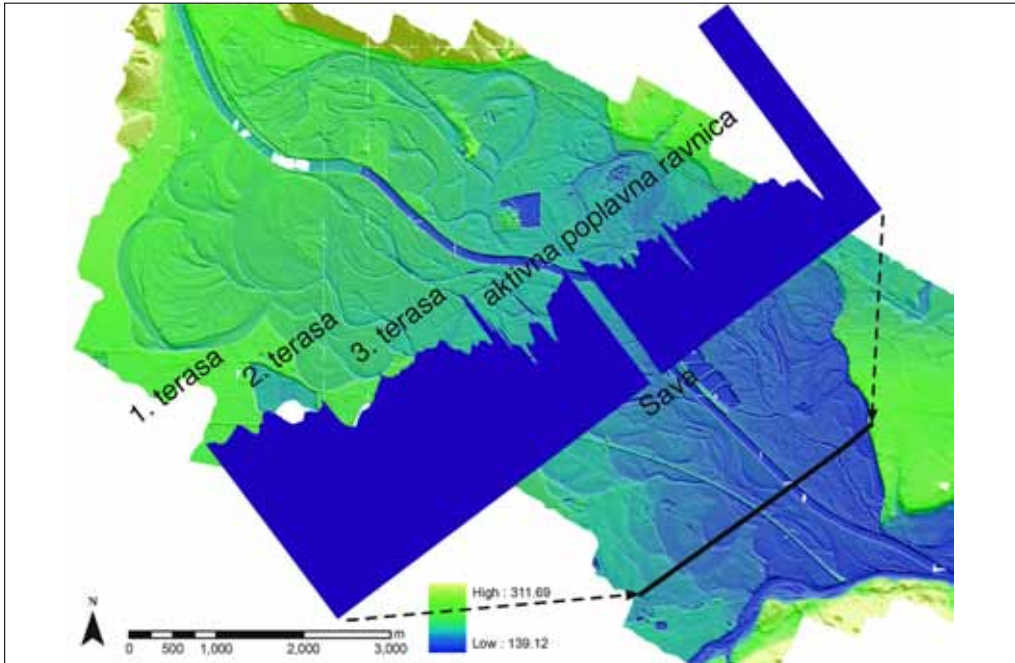
Lidar ponuja zelo natančno sliko tal Vrbine (slika 1). Kako pristopiti k tako kompleksnemu palimpsestu? Kako razločiti posamezne sledove? Kako določiti razmerja med njimi? Osnovni konceptualni okvir za interpretacijo je geomorfologija poplavnih ravnin (Brown 1997; Howard in Macklin 1999; Skaberne 1994/1995). Z analizo digitalnega modela tal identificiramo sledove in njihova stratigrafska razmerja in tako vzpostavimo relativno kronologijo procesov, ki so te sledove ustvarili. Očitno je, da je Vrbina zelo kompleksen palimpsest, pravi preplet prekrivajočih in sekajočih se opuščanih rečnih korit. Da bi razumeli in razčlenili ta palimpsest, smo se zatekli k historičnim kartam; upali smo, da bomo lahko nekatere od opuščanih korit prepoznali na historičnih kartah kot aktivne struge in jih tako uspeli datirati. Na ta način bi v zmedo opuščanih korit vnesli časovno globino in uspeli datirati nekatere epizode preoblikovanja pokrajine. Historične karte in druga poročila kažejo, da je bila Sava plovna reka z infrastrukturo, kot so vlečne poti, utrjene brežine in brodovi. Upali smo, da bomo del teh struktur prepoznali tudi na digitalnem modelu površja. Vendar se je to izkazalo za nemogoče. Razen v zelo grobih obrisih ni mogoče niti en daljši odsek reke Save iz historičnih kart jasno prepoznati na Lidar posnetku. Prepoznamo lahko le glavne koridorje teka reke Save in posamezne fragmente opuščanih korit. To pomeni, so bile starejše pokrajine v zadnjih dvesto letih močno preoblikovane ali uničene. Dober primer obsega in intenzivnosti spremembe pokrajine v zadnjih 200 letih je vas Zasavje. Zasavje je stalo na Vrbini v bližini Krške vasi. Leta 1781 ob hudi povodnji Sava spremenila svoj tok in odnesla del vasi (Škofljanc 2001). Vas je bila delno opuščena, na historičnih kartah (Franciscejski kataster, Žerovškova karta) z začetka 19. stoletja so hiše še vrisane. Danes Zasavja ni moč več prepoznati. Prostor, kjer je nekoč stalo Zasavje, je prekrit s opuščanimi strugami, terenski pregledi pa so pokazali, da je nekaj ostankov le še na posameznih izoliranih »otočkih«, dvignjenih površinah, ki se jim je reka izognila (Mlekuč in Pergar 2009). Je v Vrbini sploh še kaj ostalo? So bile vse starejše pokrajine, skupaj s arheološkimi in paleoekološkimi zapisi, uničene in odplavljene v zadnjih dvesto letih? Prvi korak pri odgovoru na vprašanje je kartiranje značilnosti poplavne ravnice, predvsem opuščanih korit (slika 2). Identificirati smo uspeli dve vrsti opuščanih korit. Prva, najbolj izražena in očitna so manj sinusoidna in ožja in delujejo bolj »sveže«, saj so globlje vrezana v poplavno ravnico. So predvsem v osrednjem delu poplavne ravnice, kjer so popolnoma prekrila in izbrisala drugo vrsto opuščanih korit. Ta so običajno širša in bolj sinusoidna, skoraj meandrirajoča. Najdemo jih le na robovih, kjer jih mlajše prestavitve rečne struge niso izbrisale. Očitno imamo opraviti z vsaj dvema fazama rečne aktivnosti: starejšo, za katero je značilna meandrirajoča oblika reke Save, in mlajšo, za katero je značilen anastomozen (razvejan, prepleten) tok. Tridimenzionalni podatki, ki jih ponuja lidar, omogočajo izdelavo presekov čez poplavno ravnico in



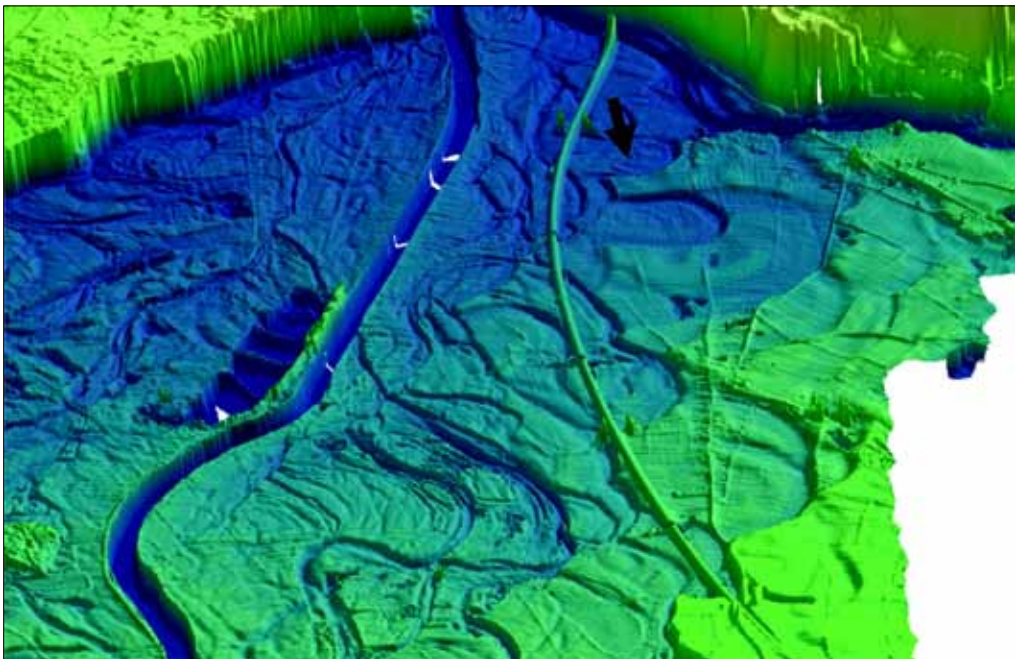
Slika 1: Analitično senčen digitalni model terena Vrbinje.



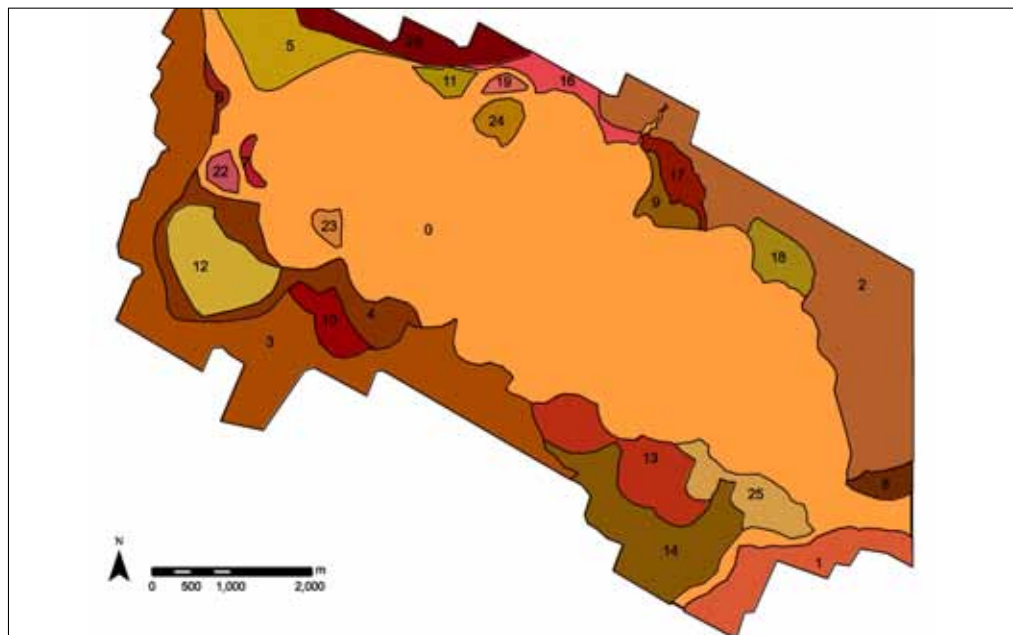
Slika 2: Karta konveksnih značilnosti, ki pomaga identificirati opuščena in aktivna rečna korita.



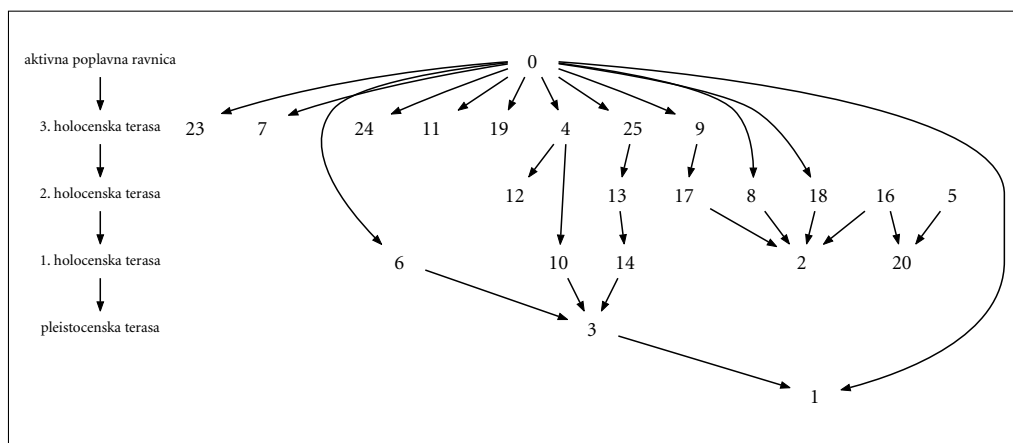
Slika 3: Presek čez študijsko območje.



Slika 4: Tridimenzionalni prikaz zaporedja teras pri Krški vasi. S puščico je označena lega okrogle strukture z jarkom (slika 7).

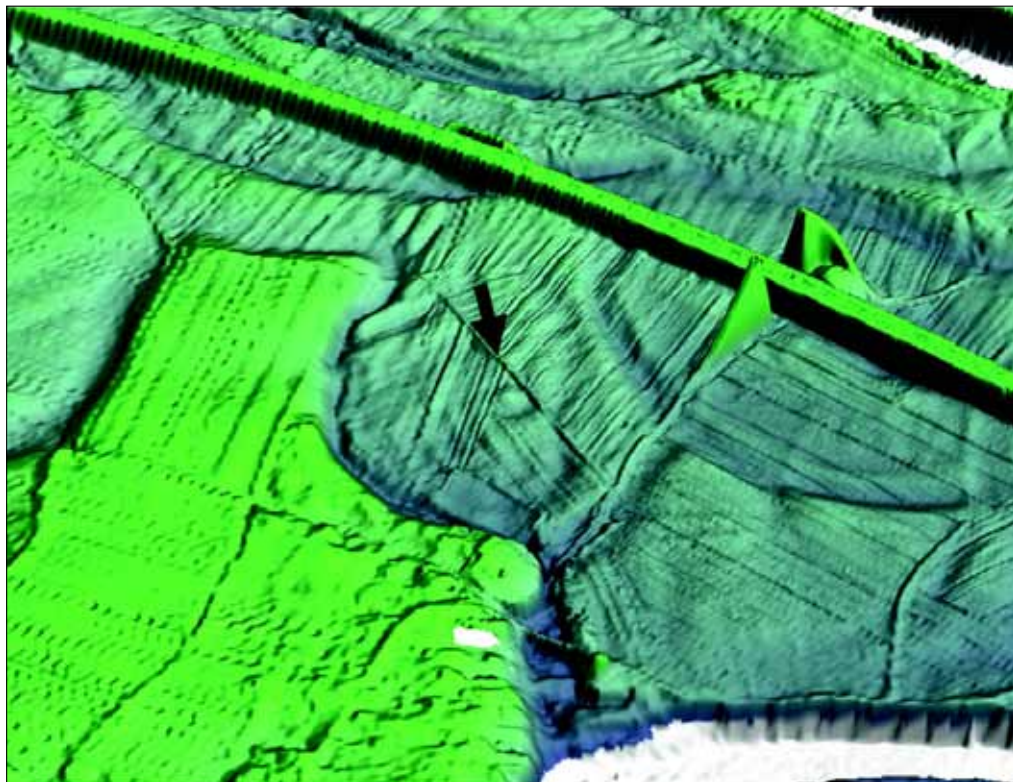


Slika 5: Interpretacija digitalnega modela terena Vrbinje, kjer je poplavna ravnica razdeljena na krpe ali površine različne starosti s različnim potencialom za ohranjanje ostankov človeških aktivnosti ali paleoekoloških zapisov.



Slika 6: Diagram stratigrafskih razmerij med pokrajinskimi elementi s slike 5.

prepoznavanje otokov, »krp« dvignjenih tal, starejših od poplavne ravnice. Presek prek holocenske terase kaže vsaj štiri različne nivoje (slika 3). Tako je ponekod, predvsem na robovih holocenske terase, ohranjeno zaporedje vsaj treh holocenskih teras (sliki 3 in 4), kar pomeni, da je v holocenu Sava vsaj štirikrat poglobila poplavno ravnico in ob tem uničila in odplavila starejše pokrajine. Najočitnejše in najboljše ohranjeno zaporedje holocenskih teras je pri Krški vasi in južnem robu holocenske



Slika 7: Okrogla struktura z jarkom na holocenski terasi pri Krški vasi.

terase (slika 4), slabše ohranjena zaporedja pa lahko najdemo tudi na severni strani. Te starejše terase so med seboj ločene s meandrirajočimi opuščeni koriti. Na severnem delu študijskega območja, ob izhodu Save iz soteske lahko opazimo posledice dramatičnih migracij strug, ki so ustvarila serijo »otokov«; najizrazitejši otok je pri Žadovinku, izraziti otoki pa so tudi pri Drnovem, kjer je Sava najverjetneje odnesla del rimskega mesta Neviodunum. Ta višja tla so starejša od sodobne poplavne ravnice, ki je bila v zadnjih 200 letih močno preoblikovana in uničena. To pomeni, da najdišča in pretekla pokrajine niso pokopane pod prodnimi zasipi, temveč uničene in odplavljene. Agrarne aktivnosti, predvsem čiščenje in oranje zemljišč, teksturo tal zelo zmehčajo in zabrišejo sledove. S primerjavo tekstur površin med sabo je moč ugotoviti, katera je bila bolj intenzivno ali dlje časa obdelovana (slika 4). Na starejših tleh so oranje in druge kmetijske aktivnosti zabrisale značilnosti poplavne ravnice, kot so opuščena korita in ježe teras, ki jih je tu le težko prepoznati. Tekstura tal je tu očitno mehkejša od osrednjega dela poplavne ravnice, za katerega so značilna »sveža«, globoko vrezana korita anastomoznega toka. Na podlagi teh analiz lahko poplavno ravnico Save razdelimo na krpe različne starosti s različnim potencialom za ohranjanje ostankov človeških aktivnosti ali paleoekoloških zapisov (sliki 5 in 6).

Na eni od teras smo ob pregledu digitalnega modela površja odkrili ostanke okrogle strukture, obdane z jarkom (slika 7), ki je trenutno brez analogij.

Ostanki meandrov na starejših holocenskih terasah kažejo, da je Sava, preden je njen tok postal anastomozen, bila meandrirajoča reka z najbrž bolj stabilno poplavno ravnico in morda bolj zanimiva za poselitev in izrabo kot v zadnjih dvesto letih.

## 4 Sklep

Sava na Krškem polju je v holocenu spremenila svoj tok iz meandriražajočega v anastomoznega in je vsaj štirikrat poglobila poplavno ravnico. V tem procesu je vsaj v osrednjem delu uničila in preoblikovala starejše pokrajine. Fragmenti zaporedja starejših tal so ohranjeni na stiku z pleistocensko teraso in posameznih izoliranih »otokih« v zgornjem delu študijskega območja. Raziskovanje preteklih pokrajin brez razumevanja geomorfoloških procesov, ki so jih preoblikovali, je preprosto naivno. Geoarheološke raziskave preteklih pokrajin omogočajo odgovoriti na vprašanja kot so: kaj vidimo v pokrajini? Zakaj vidimo le to, kar vidimo? Kaj manjka? Kaj je bilo uničeno? Kaj je morda še skrito? Lidar omogoča zelo natančno dokumentiranje tal. Tridimenzionalni podatki velike ločljivosti pomenijo preskok kvantitete v novo kvaliteto, saj omogočajo nov, zelo jasen pogled na poplavne ravnice in njihove značilnosti. Skozi sledenje in iskanje razmerij med palimpsestom sledi geomorfoloških procesov, vtisnjenimi v površje, lahko identificiramo zaporedje preoblikovanj pokrajine skozi cikle erozije in akumulacije in razumemo zgodovino pokrajine. Z lidarjem tako ne vidimo »zgolj« površja, ampak lahko razberemo tudi časovno globino poplavne ravnice. V zelo dinamičnih okoljih, kot je poplavna ravnica Save, je arheološka raba lidarja prej omejena na identifikacijo uničenja in sprememb v krajini kot na identificiranje arheoloških struktur in kulturne krajine. S pomočjo lidarja lahko iz palimpsesta destrukcij, preoblikovanj in sprememb poplavne ravnice izluščimo starejše krajine, kjer so arheološki in paleoekološki sledovi boje ohranjeni. Seveda je lidar le orodje, ki je učinkovito šele, ko ga kombiniramo z drugimi pristopi, bodisi klasičnimi arheološko krajinskimi, geoarheološkimi ali naravoslovnimi. Vendar lidar tudi tu prinaša novo kvaliteto: velike površine, ki jih pokriva, in natančna slika tal nam omogoča, da vidimo pokrajine kot celote in se ne ukvarjamo zgolj z izoliranimi fragmenti zapisov brez kontekstualnih povezav.

## Zahvala

*Lidar podatke za Krško polje smo pridobili v kontekstu predhodnih arheoloških raziskav na vplivnem območju načrtovanih posegov za HE Brežice, ki ga je naročil Holding Slovenske elektrarne d. o. o in izvajal Zavod za varstvo kulturne dediščine, OE Ljubljane v sodelovanju s Oddelkom za arheologijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani, kjer je bil avtor prispevka takrat tudi zaposlen.*

## 5 Viri in literatura

- Barnes, I. 2003: Aerial remote-sensing techniques used in the management of archaeological monuments on the British army's Salisbury Plain training area, Wiltshire, UK. *Archaeological Prospection* 10. Bradford.
- Bewley, R. H., Crutchley, C. A., Shell, C. A. 2005: New light on an ancient landscape: lidar survey in the Stonehenge World Heritage Site. *Antiquity* 79. Oxford
- Brown, A. G. 1999: Aluvial geoarchaeology. Cambridge. Challis, K. 2005: Airborne Lidar: a tool for geoarchaeological prospection in riverine landscapes. *Archaeological Heritage Management in Riverine Landscapes*. London.
- Challis, K. 2006: Airborne laser altimetry in alluviated landscapes. *Archaeological Prospection* 13. Bradford.
- Charlton, M. E., Large, A. R. G., Fuller, I. C. 2003: Application of airborne LiDAR in river environments: the River Coquet, Northumberland, UK. *Earth Surface Processes and Landforms* 28. London.
- Cobby, D. M., Mason, D. C., Davenport, I. J. 2001: Image processing of airborne scanning laser altimetry data for improved river flood modelling. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*. Rockville.

- Goldberg, P., Macphail, R. I 2006: *Practical and Theoretical Geoarcheology*. Oxford.
- Howard, A. J., Macklin, M. G. 1999: A generic geomorphological approach to archaeological interpretation and prospection in British river valleys: a guide for archaeologists investigating Holocene landscapes. *Antiquity* 73. Oxford.
- Jones, A. F., Brewer, P. A., Johnstone, E., Macklin, M. G. 2007: High-resolution interpretative geomorphological mapping of river environments using airborne LiDAR data. *Earth Surface Processes and Landforms* 31. London.
- Kalawsky, S. R. 2009: *Gaining Greater Insight Through Interactive Visualization: A Human Factors Perspective*. Trends in Interactive Visualization, Advanced Information and Knowledge Processing. London.
- Lohani, B., Mason, D. C. 2001: Application of airborne scanning laser altimetry to the study of tidal channel geomorphology. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 56. Rockville.
- Marks, K., Bates, P. 2000: Integration of high-resolution topographic data with floodplain flow models. *Hydrological Processes* 14. Bristol.
- Mlekuž, D., Pergar, M. 2009: Poročilo o ekstenzivnih in intenzivnih arheoloških pregledih na območju gradnje hidroelektrarne Brežice. Elaborat, Zavod za varstvo kulturne dediščine. Ljubljana.
- Osnovna geološka karta SFRJ, list Zagreb. 1979. Beograd.
- Skaberne, D. 1994/1995: Rečni sistemi in njihovi sedimentacijski modeli. *Geologija* 38. Ljubljana.
- Škofljanec, J. 2001: Savska poplava leta 1781. *Rast* XII. Novo Mesto.
- Verbič, T., Berič, B. 1993/1994: Struge reke Save med Krškim in Brežicami v 19. stoletju. *Proteus* 56. Ljubljana.
- Verbič, T. 2004: Stratigrafija kvartarja in neotektonika vzhodnega dela Krške kotline, 1. del: stratigrafija. Ljubljana.





## **GEOLOŠKA KARTA »IDRIJSKO-CERKLJANSKO HRIBOVJE MED STOPNIKOM IN ROVTAMI«**

**dr. Jože Čar**

Beblerjeva ulica 4, 5280 Idrija  
joze.car@siol.net

**Staša Čertalič**

Geološki zavod Slovenije  
stasa.certalic@geo-zs.si

**dr. Dušan Petrovič**

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani  
dusan.petrovic@fgg.uni-lj.si

UDK: 528.94:55:004(497.4)

### **IZVLEČEK**

#### **Geološka karta »Idrijsko-Cerkljansko hribovje med Stopnikom in Rovtami«**

Geološke karte se uvrščajo med tiste vrste tematskih kart, ki so najbolj obremenjene s podatki. Njihova izdelava je zahtevna z vsebinskega, oblikovnega in tehnološkega vidika, zato je postopek priprave in izdelave posamezne geološke karte dolgotrajen in zapleten. V prispevku opisana geološka karta je glede bogastva vsebine, podrobnosti prikaza in velikosti prikazanega območja, eno največjih dosežkov geološke kartografije v Sloveniji. Izdelana je za geološko izredno zanimivo območje Idrijsko-Cerkljanskega hribovja. Opisani so zgodovina geoloških raziskav območja, zbiranje podatkov, vsebinska razlage vsebine karte in tehnološki postopki izdelave karte.

### **KLJUČNE BESEDE**

geološka karta, računalniška kartografija, Idrijsko-Cerkljansko hribovje, geološki prerez

### **ABSTRACT**

#### **Geologic map »Idrija and Cerkljansko Hills between Stopnik and Rovte«**

Geologic maps are special-purpose maps made to show geological features and can be classified as one of the most dense-content maps. The production of geologic maps is a pretension at content, design and technology. Thus, procedure of preparation and production of geologic map is rather long and complicated. The geological map, described in this paper is one of the greatest achievements of geologic cartography in Slovenia. It shows geologically interesting area of the Idrija and Cerkljansko Hills. The history of geologic research, data collection, analyzing and interpretation and also technological procedures at map production are described.

### **KEY WORDS**

geologic map, computer assisted cartography, Idrija and Cerkljansko Hills, geological profile

## 1 Uvod

Geološke karte so tematske karte, ki prikazujejo geološke oblike. So grafični prikaz skupka vseh spoznanj o geološki strukturi in pojavih na določenem ozemlju, s čimer so podatkovni vir za različne študije in raziskave s področja geologije in drugih naravoslovnih ved, hkrati pa so nujne za različne dejavnosti, povezane z upravljanjem, nadzorovanjem in sonaravnim razvojem okolja. Geološki podatki so pomembni pri načrtovanju sonaravne rabe zalog mineralnih surovin, podzemnih vod in energetskih virov, oceni vpliva na okolje zaradi najrazličnejših posegov v prostor, ocenjevanja geološko pogojene nevarnosti v obliki plazov, podorov in masnih tokov, ocenjevanja potresne ogroženosti, načrtovanja infrastrukturnih objektov, kot so ceste, cevovodi, daljnovodi, odlagališča odpadkov vključno z odlagališči nevarnih in radioaktivnih odpadkov ter ocenjevanja geotermalne potencialnosti območij za načrtovanje raziskav geotermalnih vodonosnikov.

Izdelava geoloških kart je obsežno delo, poseben problem pa predstavlja dejstvo, da je treba večji del ocene geološkega stanja območja oceniti na osnovi zgolj površinskih znakov. Izjema so geološke vrtine ali podzemni objekti, kot so rudniki, ki omogočajo vpogled pod površjem, kar je med drugim tudi razlog za bogato zgodovino geološkega kartiranja na območju Idrije. Dolgoleten sistematski način zajema je omogočil pridobitev podatkov za izdelavo *osnovne* litološko-strukturne karte, med katere prištevamo tudi novo karto idrijsko-cerkljanskega ozemlja.

## 2 Geološko kartiranje na Idrijskem

Le šest let za tem, ko je bila leta 1759 v Evropi izrisana prva geološka karta in izdelan prvi geološki prerez na Türińskem (Rossi 2004), je rudniški jamomerec pri idrijskem rudniku, Idrijčan Jožef Mrak, izrisal prvo preprosto geološko karto (Mrak 1765). Na prostorski topografski karti je Mrak, učenec Steinbergove idrijske kartografske šole, s črkami označil nekatere pomembnejše kamnine in geološke meje. Tudi na priloženem prerezu je izrisanih več zanimivih geoloških podatkov. Po nam znanih podatkih gre za prvo, sicer preprosto geološko karto z ozemlja tedanje Kranjske. Dvajset let kasneje (leta 1784) je jamomerec Anton Mrak (sin Jožefa Mraka) izdelal geološko karto idrijskega rudišča z opisom kamnin in vpadi mejnih ploskev. Kot poroča Krópáč (1912) nobena izmed teh kart tudi v dunajskih arhivih ni več ohranjena.

V prvi polovici 19. stoletja je geološke karte idrijske jame in prereze skozi idrijsko rudišče izdelal Michael Glantschnig (po Krópáču 1912). Do leta 1845 je bila pri idrijskem rudniku izdelana tudi geo-



Slika 1: Rokopisna geološka karta okolice Idrije v merilu 1 : 28.800 (avtor M. V. Lipold, vir: *Geologija* 51/2, 265–266).

loška karta Ljubevške doline vzhodno od Idrije Straszaya (po Krópáču 1912). Žal se tudi ta karta v Idriji ni ohranila, morda pa je v dunajskih arhivih. Geološko kartiranje idrijske okolice je v sedemdesetih letih 19. stoletja doseglo prvi vrh z geološko karto rudniškega direktorja in prvega slovenskega šolanega geologa Marka Vincenca Lipolda leta 1874. Lipoldova karta v merilu 1 : 11.520 (slika 1) je bila na dunajski svetovni razstavi leta 1873 deležna posebnega priznanja. Karta je ohranila svojo strokovno vrednost do danes.

Prelomu 19. in 20. stoletja je sledilo obdobje kartiranja geologov dunajskega geološkega zavoda, ki so pregledali tudi celotno ozemlje tedanje Kranjske. Rezultati kartiranja so prikazani na tiskanih geoloških kartah v merilu 1 : 75.000 in opisani v pripadajočih tolmačih. Za idrijsko ozemlje in rudišče so pomembne predvsem ugotovitve geologov Kossmata (1905, 1010) in Krópáča (1912).

Med leti 1958 in 1960 so idrijsko ozemlje kartirali najprej geologi Geološkega zavoda Ljubljana (Berce in sodelavci 1959; 1960). Njihovi rezultati so ostali neobjavljeni. V šestdesetih letih preteklega stoletja je večino idrijskega ozemlja z nekaterimi sosednjimi območji, od Rovt na vzhodu do Vojskega na zahodu (čez 180 km<sup>2</sup>), podrobno geološko kartiral rudniški geolog Ivan Mlakar, v prvi polovici sedemdesetih let pa še dolino Idrijce od Vrhčev do Želina. Terenske ugotovitve je risal na takrat še zelo slabe topografske osnove v merilu 1 : 5000 in 1 : 10.000. Leta 1969 je Mlakar objavil rezultate svojega kartiranja ozemlja med Vojskim in Zaplano in razpravi priložil grafično izdelano geološko karto v formatu A3, vendar brez topografske podlage (Mlakar 1969).

Po letu 1956 so potekala tudi kartiranja v merilu 1 : 25.000 za Osnovno geološko karto Slovenije v merilu 1 : 100.000 (OGK). Vse karte so bile tudi natisnjene. Idrijsko ozemlje leži na listih Postojna, Gorica, Kranj in Tolmin (karte: Buser 1967; Grad in Pleničar 1967; Buser 1968; Grad in Ferjančič 1974; Buser 1986a; tolmači: Pleničar 1970; Buser 1973; Grad in Ferjančič 1976; Buser 1986b).

V osemdesetih letih prejšnjega stoletja so se nadaljevala geološka kartiranja na Idrijskem v okviru nekaterih raziskovalnih nalog in širših hidrogeoloških raziskav severne Primorske. Večina rezultatov geoloških kartiranja z zanimivimi novimi, včasih tudi pomembnimi ugotovitvami so bili doslej le delno objavljeni (Janež in sodelavci 1997), v celoti pa so upoštevanji na novi geološki karti idrijsko-cerkljanskega ozemlja.

### 3 Zbiranje in interpretacija geoloških podatkov

Geološka karta »Idrijsko-Cerkljansko hribovje med Stopnikom in Rovtami« prikazuje območje velike 334,362 km<sup>2</sup> in obsega območje skoraj celotne Občine Idrija z deli sosednjih občin (slika 2).

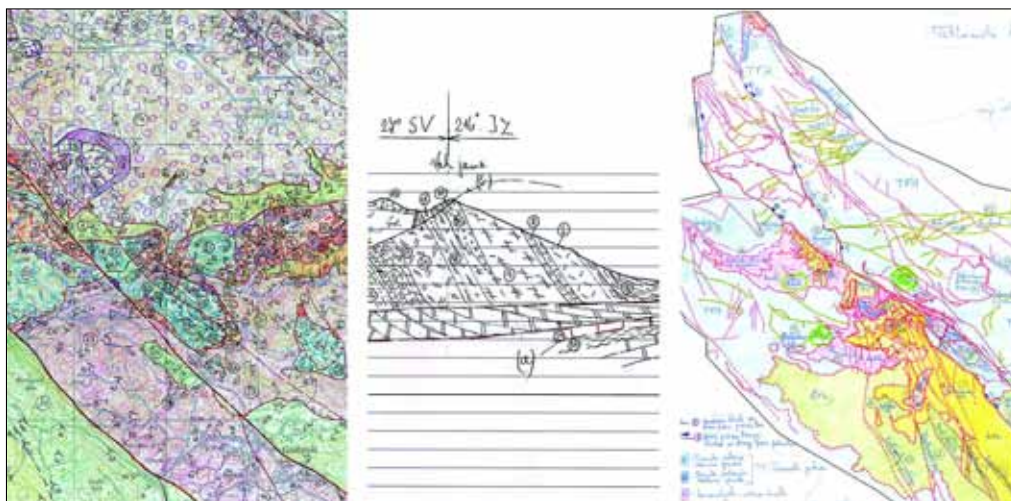


Slika 2: Območje Geološke karte »Idrijsko-Cerkljansko hribovje med Stopnikom in Rovtami«.

Rezultati starejših terenskih kartiranj, ki so posredno upoštevani pri izdelavi nove geološke karte idrijsko-cerkljanskega ozemlja, so prispevali Lipold (1857, 1874), Kossmat (1905, 1910) in Krópac (1912). Sicer pa sloni izdelava geološke karte idrijsko-cerkljanskega ozemlja predvsem na kartiranjih rudniškega geologa Ivana Mlakarja po letu 1960 in terenskih delih geologov tako imenovane »idrijske geološke šole« v sedemdesetih in osemdesetih letih. Pri izdelavi karte so upoštevana tudi nekatere ponovno preverjene ugotovitve iz listov OGK in rezultatov terenskih del, ki so bila opravljena v letih 2006 in 2007 namensko za izdelavo nove karte.

Za ekonomsko uspešno odkrivanje, sledenje in odkopavanja s cinabaritom orudenih območij v idrijskem rudniku so bile vse geološke karte rudniških obzorij izdelane v merilu 1 : 1000, karte odkopov, odpiralnih in pomembnih sledilnih del pa v merilu 1 : 500. Vsekakor kartiranje 'v kamnini' v rudniških rovih omogoča bistveno natančnejše registriranje najrazličnejših geoloških pojavov kot pa kartiranje v dobršni meri s preperino pokrite površine. Pri kartiranje površine se je v šestdesetih letih preteklega stoletja uporabljala metoda profiliranja in sistematičnega opisa točk v izbranih prerezih na topografsko osnovo 1 : 25.000, ki jo je predpisal takratni Zvezni geološki zavod iz Beograda za izdelavo osnovnih geoloških kart v Jugoslaviji. Tak način kartiranja se je pokazal kot povsem neprimeren za raziskavo morebitnih pojavov površinskega cinabaritnega orudenja v širši okolici Idrije. Zaradi tega je takratni glavni rudniški geolog Ivan Mlakar uvedel metodiko kartiranja vseh golic in sledenje kontaktov na topografskih kartah v merilu 1 : 10.000 in 1 : 5000, kar je v geološkem pogledu pomenilo bistveno natančnejši in v vsestranski pogled v geološko zelo zapleteno zgrajeno idrijsko ozemlje.

Kartiranje vseh golic in slednje kontaktov je potekalo na topografskih kartah v merilu 1 : 10.000 ali 1 : 5000. Merilo je bilo odvisno od geološke zapletenosti terena in namena kartiranja. Pri delu na terenu sledimo stikom med različnimi kamninami, ne glede na njihovo starost in lego v prostoru. Pri tem je treba ovrednotiti kontakte med kamninami, ki so lahko normalni, tektonski (prelomni (normalni in zmični) ali narivni) in erozijski. Sočasno je treba izrisati na karto vse golice kamnin in izmeriti čim več vpadov in slemenitev plasti ter vpadov in potekov prelomnih ploskev. Seveda je nujno slediti tudi prelomnim conam znotraj istih litoloških členov. Izmerjeni podatki o plasteh omogočajo strukturni izris lege plasti v prostoru, vpadi in slemenitve prelomnih ploskev pa sledenje in povezovanje prelomnih con. Vse ugotovljene podatke vnašamo neposredno na karto, kar pomeni, da nastaja geološka karta 'na terenu' in ne kasneje v kabinetu, kot je to običajno pri 'profilnem kartiranju'. Vsa pomembnejša in 'prostorsko neorientirana' opažanje beležimo v terenski dnevnik.



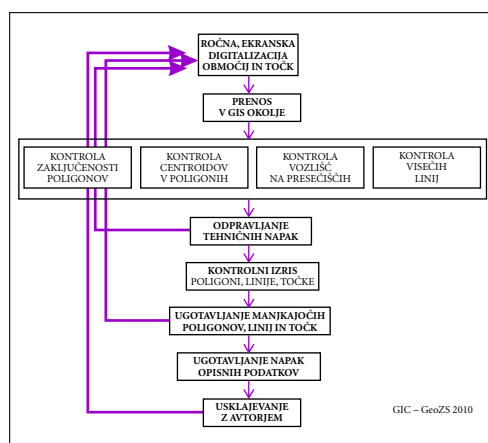
Slika 3: Izseki rokopisa karte, prereza in tektonske karte.

Podlaga za izdelavo litološko-strukturne karte je bila topografska karta v merilu 1 : 25.000, na katero smo izrisali podatke neposredno s terenskih geoloških kart v merilu 1 : 5000 in 1 : 10.000. Temelj so bile Mlakarjeve terenske karte iz šestdesetih letih preteklega stoletja. Zaradi slabe topografske osnove je bilo položajno prenašanje podatkov pogosto nezanesljivo in po potrebi podprto s terenskimi preverjanji. Vsebino smo dopolnili s podatki novega terenskega kartiranja. Neznatne golice kamnin, ki so pomembne predvsem za strukturno interpretacijo, smo po potrebi na karti nekoliko povečali. Premajhne in strukturno nepomembne smo izpustili. Na več odsekih je bilo treba razmere ob Idrijskem prelomu poenostaviti, saj ni bilo mogoče izrisati vseh različno starih kamnin, ki se hitro menjavajo v ožjem pasu vzdolž preloma. Taka območja smo na karti izrisali s posebnim znakom. Podobno so nastajali tudi prerezi in tektonska karta. Izseki vseh avtorskih rokopisnih kart so prikazani na sliki 3.

Pri pripravi rokopisne karte se je odprlo tudi veliko število povsem strokovnih geoloških problemov (litološko-stratigrafskih in strukturnih), ki jih je bilo treba rešiti pred dokončnim izrisom karte. Kar nekaj je bilo težav tudi s poimenovanjem tektonskih pojavov in grafiko, saj je bilo med drugim treba smiselno izrisati kar 37 grafičnih dovolj ločljivih znakov za posamezne litostratigrafske enote, s katerimi na karti prikazujemo strukturno lego plasti (prostorsko lego plasti).

## 4 Zajem podatkov v digitalno obliko

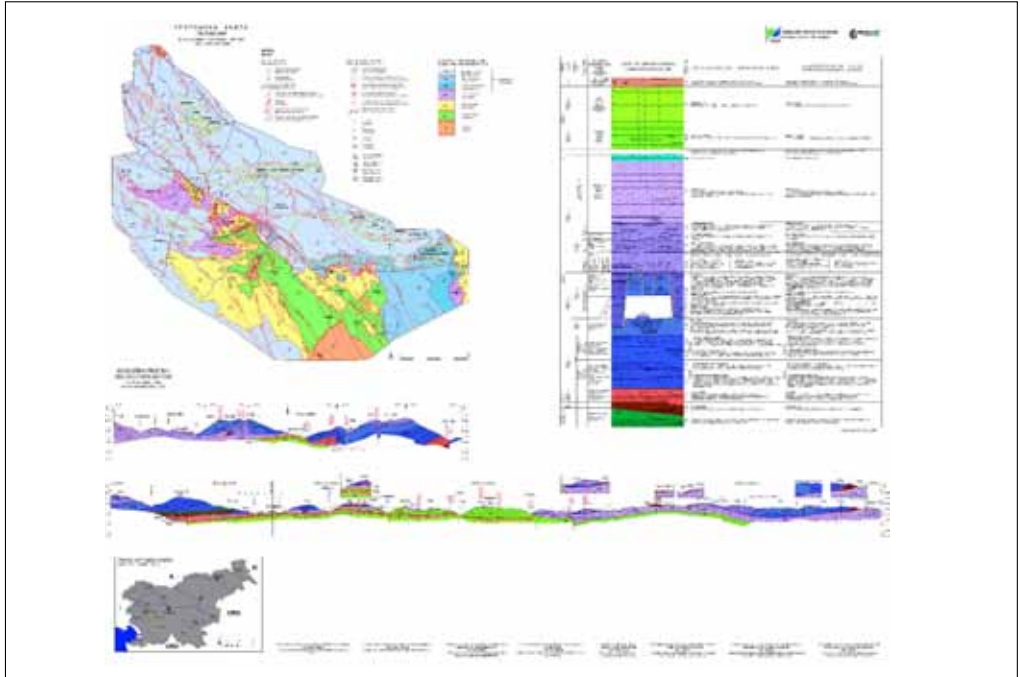
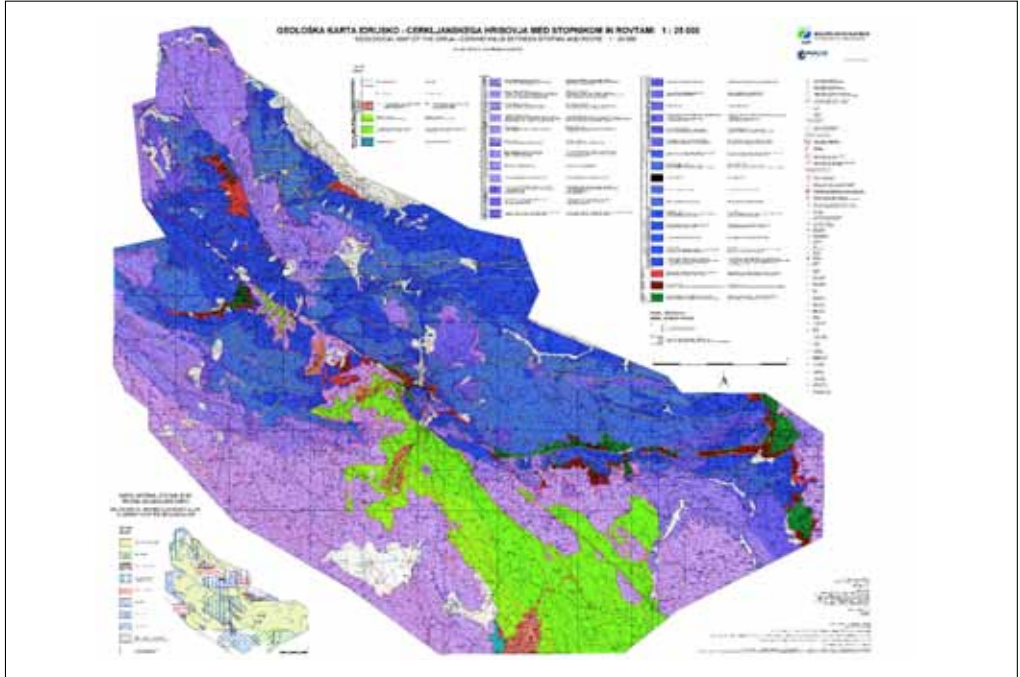
Avtorjevo rokopisno geološko karto v merilu 1 : 25.000 s pripadajočo legendo smo skenirali in vpeli v geografski koordinatni prostor. Podatke smo zajeli v programskem okolju AvtoCAD Map po že standardiziranem postopku (slika 3), ki so ga razvili v Geološkem informacijskem centru (GIC) na Geološkem zavodu Slovenije (Šinigoj in sodelavci 1998; Hafner in sodelavci 1999; Šinigoj in sodelavci 2000).



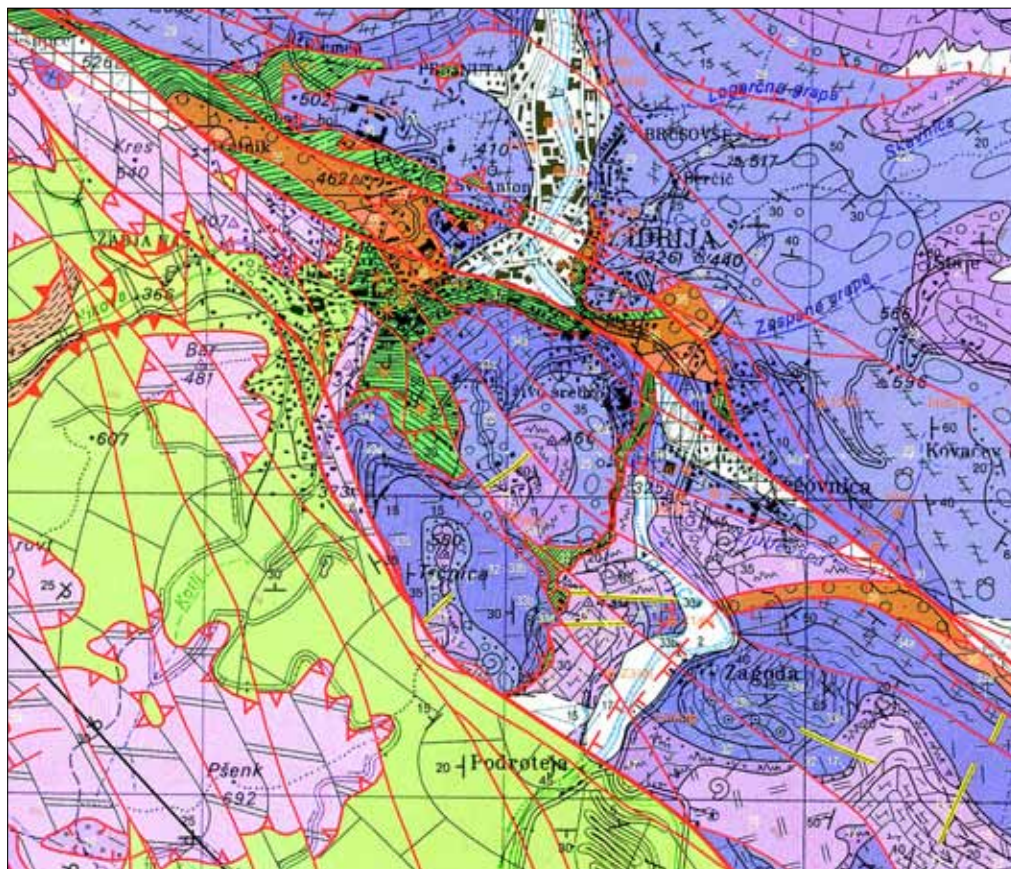
Slika 4: Shematski prikaz zajema podatkov.

Podatke smo zajemali po tematskih slojih: poligonski (litologija), linijski (geološke in tektonske meje) in točkovni sloj (vpad plasti, fosili, vrtine) po že obstoječih geoloških standardih. Skupno število zajetih poligonov je 1556, točk pa 2609, od tega 2262 geoloških vpadov. Določenih je še 39 različnih centroidov. Na podlagi usmerjenosti znakov za vpade, s katerimi geologi grafično prikazujejo položaj kamninskih plasti v prostoru, lahko na topografsko podlago poleg geoloških in tektonskih mej izrišemo tudi smer in povijanje plasti kamnin. S tem grafičnim prikazom postane geološka karta še bolj nazorna in plastična.

Sestavni del geološke karte sta dva geološka prereza. Oblikovanost površja, ki ga posamezen prezek preseka, smo izdelali iz DMV 25 s programom Surfer, prek .dat formata smo ga obdelali v okolju



Slika 5: Shema postavitve prve in zadnje strani karte.



Slika 6: Izsek iz končne karte.

Grapher in prek .shp formata uvozili v AutoCAD Map. S tem smo dobili natančno izrisano površino prereza. Zaradi številnih podatkov, pridobljenih v mnogih letih, in tektonsko zanimivega območja se je avtor odločil, da bi na karto vključili tudi Tektonsko karto v merilu 1 : 50.000.

## 5 Oblikovanje karte in priprava za tisk

Geološki zavod karte za tisk in za izvoz v digitalno obliko za neposredno uporabo že dobro desetletje pripravlja v okolju ArcMap. Zaradi zahtevnosti in podrobnosti geološke tematske vsebine grafična kakovost predvsem tiskanih kart ni ustrezala, zato smo pri novi karti postopek nadaljnje izdelave ločili na pripravo digitalne karte v okolju ArcMap ter na oblikovanje in pripravo karte za tisk v okolju OCAD.

V programskem okolju OCAD smo izdelali knjižnico geoloških kartografskih znakov, za osnovne geološke dobe določili barvne odtenke, za prikaz nadaljnje razčlenitve pa uporabili šrafure. Posebej zapleten je bil prikaz podrobne razčlenitve triasnih kamnin, ki jo po evropskem standardu prikazujemo z odtenki od roza do temno vijolične.

Celotna karta je postavljena dvostransko na formatu 1170 krat 970 cm, kar presega za karte običajen format B1. Prva stran vsebuje litološko-strukturno geološko karto v merilu 1 : 25.000 s pripadajočo



legendo, na hrbtni strani pa sta oba geološka prereza ter tektonska karta, kot je razvidno iz sheme postavitve v sliki 5.

Priprava za tisk in tisk sta bila zaradi vsebinsko bogate karte in velikega formata velik izziv. Geološka karta je v celoti v vektorski obliki, topografska osnova pa so rastrske slike reprodukcijskih originalov državne topografske karte v merilu 1 : 25.000. Tudi hrbtna stran je vektorska. Za doseg ustreznosti grafične kakovosti smo uporabili rastre z ločljivostjo prek 1000 dpi, za ofsetni tisk pa smo karto pripravili v dvakrat višji ločljivosti od običajne za tisk. Hrbtna stran je tiskana po metodi kratke barvne lestvice z osnovnimi štirimi barvami, med tem ko je pri tisku prve strani k osnovnim barvam zaradi boljšega prikaza plastnic dodatno natisnjena rjava barva, kar je razvidno iz izseka tiskane karte v sliki 6.

## 6 Sklep

Geološka karta »Idrijsko-Cerkljansko hribovje med Stopnikom in Rovtami« je velik dosežek v slovenskem prostoru. Prikazuje sintezo večdesetletnega sistematičnega geološkega kartiranja mnogih avtorjev, hkrati pa predstavlja tudi visokokakovosten grafični izdelek, saj je rezultat uspešnega sodelovanja med geologi in kartografi. Karta je bila natisnjena v nakladi 1000 izvodov, za katere avtorji upamo, da bodo toplo sprejeti v znanstvenih in strokovnih krogih ter tudi med ostalimi uporabniki.

## 7 Viri in literatura

- Berce, B., Iskra, M., Novak, D., Ciglar, K. 1959: Poročilo o geološkem kartiranju ozemlja Cerčno – Žiri v letu 1958. Tipkopis, arhiv Geološkega zavoda Ljubljana in RŽS Idrija, (neobjavljeno).
- Berce, B., Iskra, M., Novak, D., Ciglar, K. 1960: Poročilo o geološkem kartiranju na ozemlju Cerčno – Žiri – Idrija – Rovte. Tipkopis, arhiv Geološkega zavoda Ljubljana in RŽS Idrija, (neobjavljeno).
- Buser, S. 1968: Osnovna geološka karta SFRJ, list Gorica, 1 : 100.000. Zvezni geološki zavod. Beograd.
- Buser, S. 1973: Osnovna geološka karta SFRJ. Tolmač lista Gorica. Zvezni geološki zavod. Beograd.
- Buser, S. 1986a: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, list Tolmin in Videm. Zvezni geološki zavod. Beograd.
- Buser, S. 1986a: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, list Tolmin in Videm. Zvezni geološki zavod. Beograd.
- Buser, S. 1986b: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tolmač lista Tolmin in Videm. Zvezni geološki zavod. 103, Beograd.
- Buser, S. 1986b: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tolmač lista Tolmin in Videm. Zvezni geološki zavod. 103, Beograd.
- Buser, S., Grad, K., Pleničar, M. 1967: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, list Postojna. Zvezni geološki zavod. Beograd.
- Grad, K., Ferjančič, L. 1974: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, list Kranj. Zvezni geološki zavod. Beograd.
- Grad, K., Ferjančič, L. 1976: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000. Tolmač lista Kranj. Zvezni geološki zavod. Beograd.
- Hafner, J., Komac, M., Poljak, M. 1999: Geološki informacijski sistemi – končno poročilo za leto 1999. Geološki zavod Slovenije. Ljubljana.
- Janež, J., Čar, J., Habič, P., Podobnik, J. 1997: Vodno bogastvo Visokega krasa. Idrija.
- Kossmat, F. 1905: Erläuterungen zur geologischen Karte Heidenschaft – Adelsberg. Wien.
- Kossmat, F. 1910: Erläuterungen zur geologischen Karte Bischoflack und Idria. Wien.
- Krópáč, J. 1912: Die Lagerstättenverhältnisse des Bergbaugesbietes Idria. Berg und Hüttenmännischen Jahrbuch 60/2. Wien.

- Lipold, M. V. 1857: Bericht über die geologischen Aufnahmen in Ober-Krein im Jahre 1856. Jahrbuch k. k. Geol. R. A. 7. Wien.
- Lipold, M. V. 1874: Erläuterungen zur geologischen Karte der Umgebung von Idria in Krain. Jahrbuch der k. k. Geol. R. A. 24. Wien.
- Mlakar, I. 1969: Krovna zgradba idrijsko žirovskega ozemlja. Geologija 12. Ljubljana.
- Mrak, J. 1765: Plan und Profil Mappa von den k. k. Quecksilberbergwerk Idria. Arhiv Mestnega muzeja Idrija.
- Pleničar, M. 1970: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000. Tolmač lista Postojna. Zvezni geološki zavod. Beograd.
- Rossi, P. 2004: Rojstvo moderne znanosti v Evropi. Ljubljana.
- Šinigoj, J., Komac, M., Šajn, R., Ribičič, M., Hribernik, K., Poljak, M., Šarabon, A., Trebušak, I., Kopitar, T., Mahne, M., Kumelj, Š. 2000: Geološki informacijski sistemi – končno poročilo za leto 2000. Geološki zavod Slovenije. Ljubljana.
- Šinigoj, J., Komac, M., Šajn, R., Ribičič, M., Žarabon, A., Trebušak, I. 1998: Geološki informacijski sistemi – končno poročilo za leto 1998. Geološki zavod Slovenije. Ljubljana.



## ZNAČILNE KOMBINACIJE PEDOGENETSKIH DEJAVNIKOV V SLOVENIJI

**dr. Blaž Repe**

Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani  
blaz.repe@ff.uni-lj.si

UDK: 911.2:631.4(497.4)

### IZVLEČEK

#### **Značilne kombinacije pedogenetskih dejavnikov v Sloveniji**

Za potrebe opredelitve pedogenetskih dejavnikov smo uporabili razdelitev Slovenije na 13 pokrajinskoe-koloških enot. Znotraj teh enot smo ekspertno izbrali 21 homogenih območij. Za vsako izmed njih smo opredelili tipično kombinacijo morfometričnih in nemorfometričnih kazalcev, ki predstavljajo pedogenetske dejavnike. Ob razpoložljivih digitalnih podatkih v merilu 1:25.000, kolikor je tudi merilo obstoječe Pedološke karte Slovenije, menimo, da gre za reprezentativne kombinacije.

### KLJUČNE BESEDE

pedogenetski dejavniki, GIS, Pedološka karta Slovenije, pedogeografija

### ABSTRACT

#### **Typical combinations of soil forming factors in Slovenia**

Determination of soil forming factors required division of Slovenia onto 13 ecological landscape units. Within these units 21 homogenous units have been chosen. For every chosen unit a typical combination of morphometric and non-morphometric factors that represent soil forming factors parameters had been determined. According to the scale of the existing Soli map of Slovenia (1:25.000) and availability of digital data we believe, that these combinations are representative.

### KEY WORDS

soil forming factors, GIS, soil maps of Slovenia, soil geography

## 1 Uvod

Vse, kar vpliva na nastanek, razvoj in lastnosti prsti ter istočasno na njihovo razširjenost, lahko strnemo pod pojmom pedogenetski dejavniki. Z vidika sistemske teorije so to dejavniki okolja, pokrajine, ki delujejo na preučevani podsistem, to je na prsti (Lovrenčak 1994). Do takšnih zaključkov se je dokopal že Dokučajev, temelje pa postavi Jenny leta 1941, ki je vpliv pedogenetskih faktorjev na nastanek in razvoj prsti zapisal v obliki znamenite formule; na slovenske razmere je formulo prilagodil Stritar (1971). Vsaka prst, njene lastnosti in procesi, ki potekajo v njej, so rezultat vzajemnega delovanja vseh teh dejavnikov. Lokalno pogosto nek dejavnik prevlada nad ostalimi, vpliv drugih pa je komaj čutiti. Ne Jenny ne Stritar kvantitativno nista opredelila funkcije in njenih faktorjev, saj so te povezave izjemno zapletene in jih je z matematičnimi in geostatističnimi modeli mogoče opisati le deloma:

- sorazmerno enostavno je poiskati kvantitativne povezave med površjem in njegovimi morfometričnimi parametri, medtem ko povezanost z ostalimi dejavniki ni tako očitna;
- povezave v večini primerov niso linearne;
- malo pozornosti se posveča součinkovanju med posameznimi dejavniki;
- prsti lahko napovedujemo na podlagi njihove lokacije;
- prsti lahko napovedujemo na podlagi njihovih lastnosti na isti lokaciji;
- prsti lahko napovedujemo na podlagi prsti samih, lastnosti prsti in naravnih atributov na sami in okoliških lokacijah (McBratney s sodelavci 2003).

Vsak matematični ali geostatistični model je ne glede na merilo vedno zgolj bolj ali manj natančen približek realnega stanja, saj so povezave med prstmi in pedogenetskimi dejavniki izjemno kompleksne in zapletene. Pa vendar je naš cilj prav ugotavljanje razprostranjenosti prsti v pokrajini na podlagi pedogenetskih dejavnikov. Torej izdvojiti genske tipe oziroma skupine prsi in jih na tak način tudi prikazati. Ker je končen rezultat v glavnem odvisen prav od izbora faktorjev, smo posebno pozornost namenili prav naravnim dejavnikom. Za njih je značilno, da so v posameznih pokrajinskoekoloških enotah zaznamovani s skupnimi lastnostmi.

Slovenijo smo zato razdelili na posamezne pokrajinskoekološke enote (PEE) (Kokalj 2004; Kokalj in Oštir 2006), ki služijo kot podlaga izboru pokrajinskih enot prsti (PEP) (slika 1). Vsak PEP smo opredelili s pedogenetskimi, torej nemorfometričnimi in morfometričnimi dejavniki (Repe 2009).

## 2 Metode dela in območje preučevanja

Pri preučevanju smo imeli naslednje cilje:

- izbor pokrajinskoekoloških enot;
- izbor in pripravo digitalnih slojev podatkov;
- pripravo in izračun parametrov, ki opredeljujejo in predstavljajo pedogenetske in morfometrične dejavnike;
- ekspertni izbor homogenih pokrajinskih enot prsti v vsaki izmed pokrajinskoekoloških enot;
- izračun in predstavitev pedogenetskih in morfometričnih dejavnikov pokrajinskih enot prsti.

Pedogenetska in morfometrična opredelitev prostora Slovenije in pokrajinskih enot prsti je potekala na podlagi ustreznih, predvsem pa razpoložljivih digitalnih podatkov, ki so primerni in omogočajo nadaljnjo obdelavo, analize, matematično, (geo)statistično modeliranje ter kartografske prikaze.

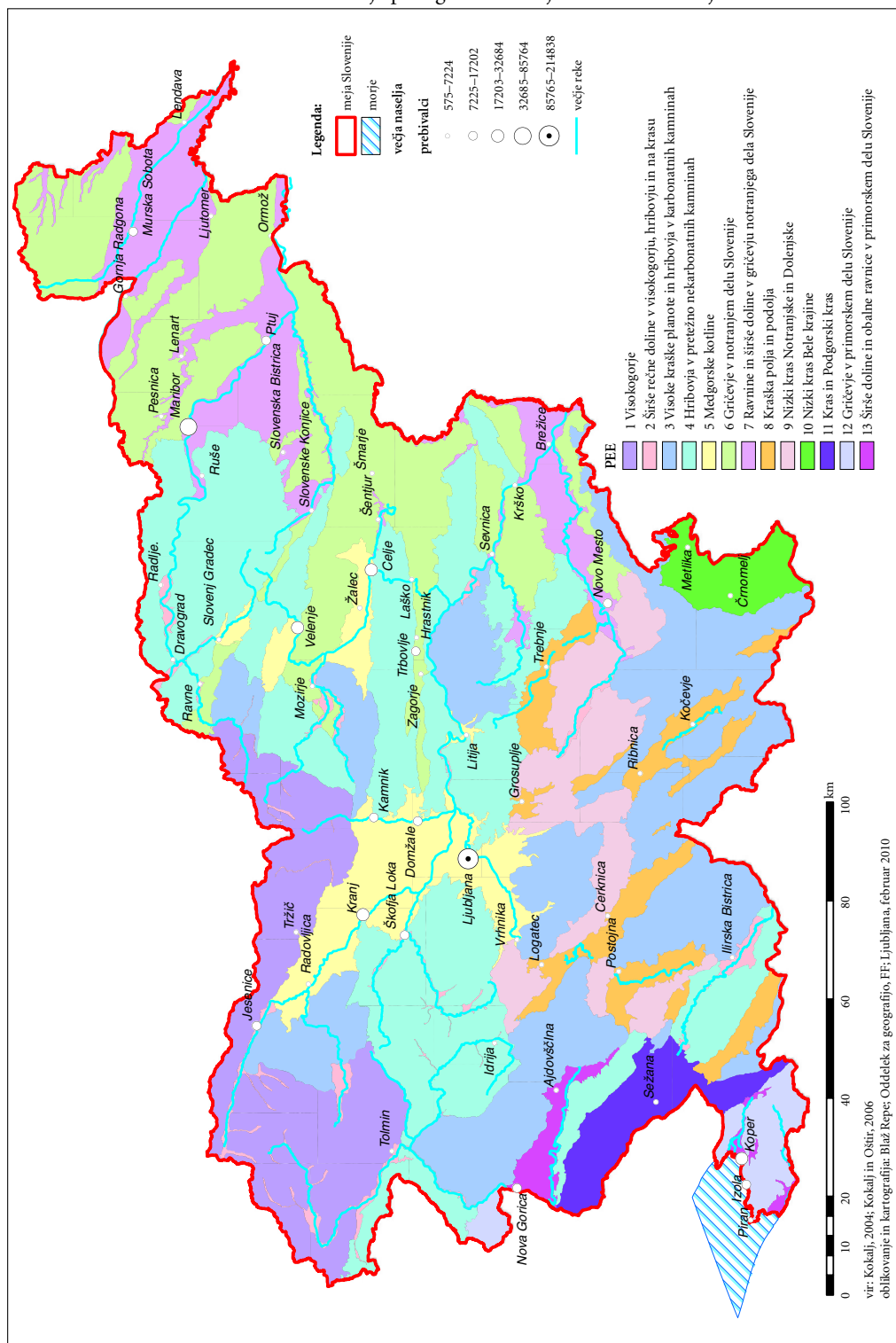
Za pedogenetski in morfometrični PEP smo uporabili:

1. digitalne podatke:
  - a. Osnovne geološke karte Slovenije;
  - b. digitalnega modela višin (nadmorske višine, naklon pobočij, ekspozicija, ukrivljenosti površja);

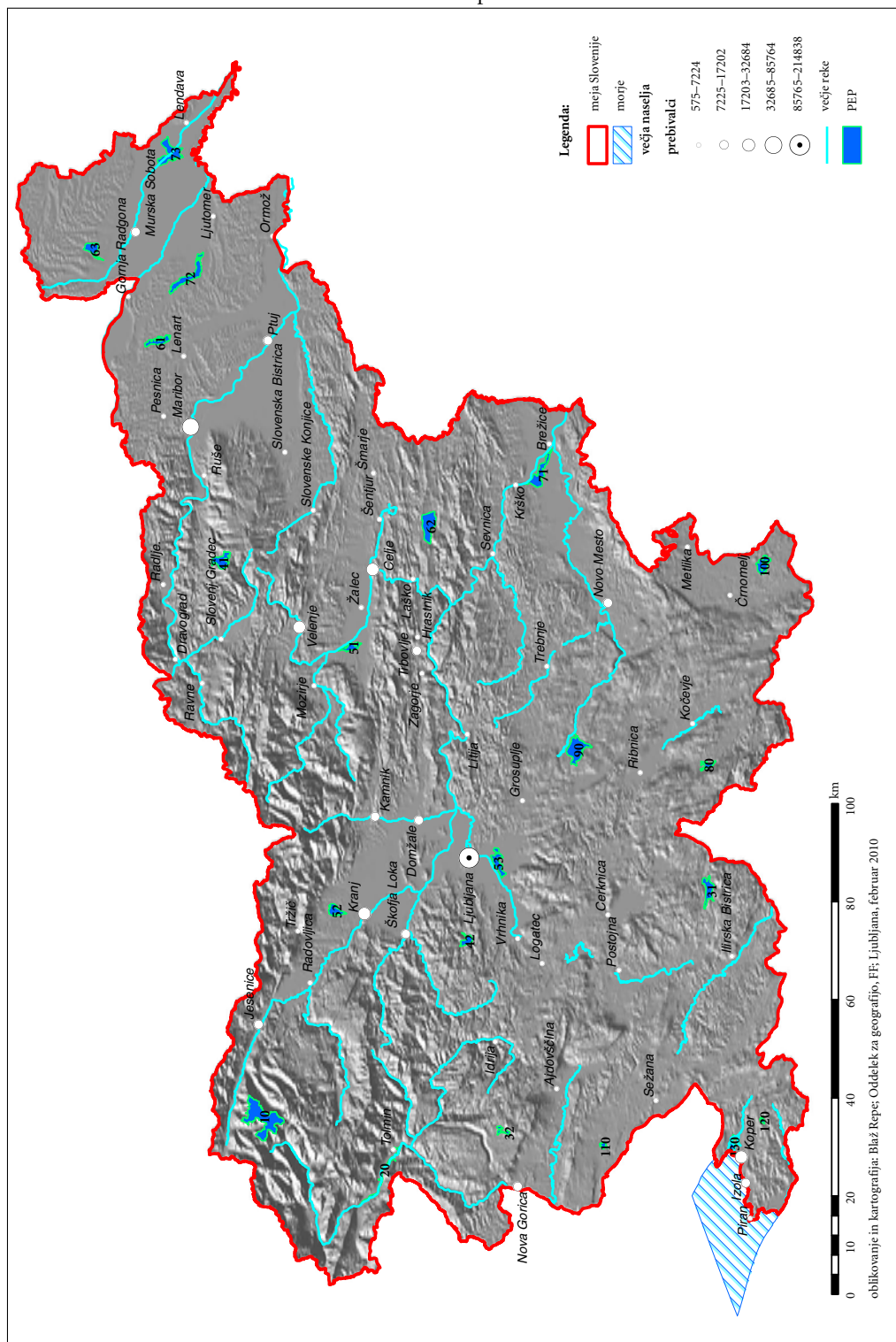
*Slika 1: Pokrajinskoekološke enote (PEE) z lokacijami izbranih pokrajinskih enot prsti (PEP). ►*

*Slika 2: 21 pokrajinskih enot prsti (PEP) v Sloveniji. ► (str. 102)*

## Značilne kombinacije pedogenetskih dejavnikov v Sloveniji



# Blaž Repe



- c. podnebnih tipov Slovenije (povprečne letne količine padavin, povprečne letne temperature zraka, interpoliran podatek o letni evapotranspiraciji in povprečna letna energija sončevega obsevanja);
- d. gostote rečne mreža Slovenije in reliefnega indeksa vlažnosti;
- e. Vegetacijske karte gozdnih združb;
- f. pokrovnosti in rabe tal;
- g. Digitalne pedološke karte Slovenije, 1 : 25.000.

Med pedogenetske dejavnike štejemo tudi čas. Metode za ugotavljanje so različne od georadarskih in elektomagnetnih meritev (Sinha, 1990), do različnih izotopnih metod in visokofrekvenčnega daljinskega zaznavanja (Matt in Johnson, 1996). V kateremkoli primeru je določevanje izjemno težko in gre najpogosteje za približke, najpogosteje s pomočjo ekspertnih ocen (McBratney, 2003). Primer-nih podatkov za območje Slovenije ni, zato niso bili uporabljeni.

2. GIS in kartografska orodja:

- h. programski paket ArcGIS 9.3 s pripadajočimi orodji (ArcToolbox):
  - ArcGIS Spatial Analyst,
  - ArcGIS Scan,
  - XTools 3.2 za ArcGIS 9.x,
  - ET Geowizards 94 za ArcGIS 9.x,
  - ET Geotools 92 za ArcGIS 9.x,
  - TauDEM (*Terrain analysis using Digital Elevation Model*) (Tarboton 2005);
- i. programski paket Clark Labs Idrisi Andes;
- j. programska paketa MS Excel 2003 in SPSS 17 (Statistica) za statistične analize, tabelarične prikaze in izdelavo grafikonov.

Navedeni digitalni sloji podatkov so bili združeni v enoten geografski informacijski sistem znotraj ArcGIS 9.3 okolja. Za izračun dodatnih in izvedenih slojev (naklon, ekspozicije, ukrivljenost) smo uporabili standardne metode, ki jih vključuje ArcInfo Toolbox 9.3. Poleg tega smo uporabili še:

- kernel line density (*Spatial Analyst*) za izračun gostote rečne mreže;
- interpolacijsko metodo zlepkov (*Spline*) za izračun površja evapotranspiracije iz točkastih podatkov;
- orodje TAUdem (*Terrain analysis using digital elevation models*; Tarboton 2005) za izračun reliefnega indeksa vlažnosti.

Tabelarične podatke pedogenetskih in morfometričnih dejavnikov za izbrane PPE-je in PEP-e smo dobili z uporabo modulov *CLIP*, *UNION* in *TABULATE AREAS* za vektorske sloje ter *ZONAL STATISTICS* za rastrske sloje. Atributivne baze podatkov in surovi tabelarični podatki so bili obdelani z *VRTILNIMI TABELAMI* v Excel 2003. V primeru večjih količin podatkov (nad 70.000 zapisov) pa v SPSS17 (*CASE SUMMARIES* in *CUSTOM TABLES*).

### 3 Rezultati

Ozemlje Slovenije smo razdelili na 13 pokrajinskoekoloških enot, ki smo jih opisno opredelili glede na pedogenetske in morfometrične dejavnike. Znotraj teh trinajstih PEE-jev smo ekspertno izbrali eno, do največ tri PEP-e in jih kvantitativno in kvalitativno opredelili glede na pedogenetske dejavnike. Zaradi pestrosti pedogenetskih in morfometričnih dejavnikov znotraj posamezne pokrajinskoekološke enote, smo v nekaterih enotah izbrali več kot eno (do tri) pokrajinsko enoto prsti. Čeprav ekspozicija pobočij sodi med pomembne morfometrične dejavnike, pa zaradi sorazmerno velikih PEP-ov pove relativno malo, saj so v vseh PEP-ih enakomerno zastopane vse ekspozicije. Uporabnost tega podatka je pomembna neposredno na lokaciji posameznega profila prsti. Ta podatek mnogo bolje razloži vrednosti globalnega sončevega obsevanja (preglednica 2).

Določili smo 21 homogenih PEP-ov (slika 2), za katere smo izbrali značilne kombinacije kazalcev, ki opredeljujejo pedogenetske dejavnike (preglednica 1).



*Preglednica 1: Pokrajinske enote prsti Slovenije in njihova opredelitev na podlagi prevladujočih pedogenetskih dejavnikov.*

---

1. **Visokogorje**, kjer so prevladujoč tip prsti karbonatni litosoli. Pojavlja se trda, karbonatna matična podlaga, pretežno dolomitna; nadpovprečne nadmorske višine in ekstremni nakloni; podnebje višjega gorskega sveta; prevladujoča je grmovna združba *Rhodothamno-Rhododendretum hirsuti* (združba rušja), pojavlja se tudi gozdna združba *Anemone trifoliae-Fagetum*; prevladujoča oblika rabe tal je odprto, neporaščeno površje.
2. **Širše rečne doline v visokogorju, hribovju in na krasu**, kjer so prevladujoče nerazvite, karbonatne in plitve obrečne prsti (fluvisol). Pojavlja se nesprijetno rečno gradivo, holocenski prodnati aluvij; podpovprečne nadmorske višine, ravnine, z izjemno nizkimi nakloni; zmerno celinsko podnebje zahodne in južne Slovenije; nadpovprečna gostota rečne mreže in nadpovprečni reliefni indeks vlažnosti; prevladujoči gozdni združbi sta *Lamio orvalae-Fagetum* in *Ostryo-Fagetum*; prevladujoča oblika rabe tal je gozd.
3. **Visoke kraške planote in hribovja v karbonatnih kamninah:**
  - Kjer so prevladujoče tipične rjave pokarbonatne prsti na apnencu in dolomitu. Pojavlja se trda, karbonatna matična podlaga, pretežno apnenčasta; nadpovprečne nadmorske višine nadpovprečni nakloni; podnebje nižjega gorskega sveta zahodne Slovenije; odsotna rečna mreža in podpovprečni reliefni indeks vlažnosti; prevladujoča gozdna združba je *Omphalodo-Fagetum*; prevladujoča oblika rabe tal je gozd.
  - Kjer so prevladujoče sprsteninaste rendzine na apnencu in dolomitu. Pojavlja se trda, karbonatna matična podlaga, pretežno apnenčasta; nadpovprečne nadmorske višine, nadpovprečni nakloni; zmerno celinsko podnebje zahodne in južne Slovenije; odsotna rečna mreža; prevladujoča gozdna združba je *Omphalodo-Fagetum*; prevladujoča oblika rabe tal je gozd.
4. **Hribovja v pretežno nekarbonatnih kamninah**
  - Kjer so prevladujoči distrični in litični rankerji. Pojavljajo se trde, magmatske in metamorfne kamnine; nadpovprečne nadmorske višine in nadpovprečni nakloni; podnebje nižjega gorskega sveta in vmesnih dolin severne Slovenije; nadpovprečna gostota rečne mreže in podpovprečni reliefni indeks vlažnosti; prevladujoči gozdni združbi sta *Luzulo albidiae-Fagetum* in *Cardamino savensi-Fagetum*; prevladujoča oblika rabe tal je gozd.
  - Kjer so prevladujoče tipične distrične rjave prsti, ki se prepletajo z distričnimi in erozijskimi rankerji. Pojavljajo se permo-karbonski skrjavli glinavci in peščenjaki; povprečne nadmorske višine in povprečni nakloni; zmerno celinsko podnebje zahodne in južne Slovenije; močno nadpovprečna gostota rečne mreže; prevladujoča gozdna združba je *Blechno-Fagetum*; prevladujoča oblika rabe tal je gozd.
5. **Medgorske kotline**
  - Kjer so prevladujoče tipične, plitve, evtrične rjave prsti. Pojavljajo se karbonatne ledenodobne (pleistocenske) naplavine in vršaji (prod, pesek); podpovprečne nadmorske višine in brez naklona; zmerno celinsko podnebje osrednje Slovenije; nadpovprečna gostota rečne mreže in nadpovprečni reliefni indeks vlažnosti; prevladujejo negozdne združbe in antropogena raba; prevladujoča oblika rabe tal so njive.
  - Kjer so prevladujoče psevdoglejene izprane prsti (luvisol). Pojavlja se pleistocenski konglomerat; podpovprečne nadmorske višine in neznatni nakloni; zmerno celinsko podnebje zahodne in južne Slovenije; močno nadpovprečna gostota rečne mreže in nadpovprečni reliefni indeks vlažnosti; prevladujejo negozdne združbe in antropogena raba; prevladujoča oblika rabe tal so travniki in gozd.
  - Kjer so prevladujoče plitve mineralno-organske prsti (molični glej), na apnenčasti gyttji. Pojavljajo se pleistocenski jezerski sedimenti (apnenčasta gyttja); podpovprečne nadmorske višine, brez naklona; zmerno celinsko podnebje osrednje Slovenije; ekstremno nadpovprečna gostota rečne mreže in ekstremno nadpovprečni, maksimalen reliefni indeks vlažnosti; prevladujejo negozdne združbe in antropogena raba; prevladujoča oblika rabe tal so njive in travniki.
6. **Gričevje v notranjem delu Slovenije**
  - Kjer so prevladujoče tipične, srednje globoke distrične rjave prsti. Pojavljajo se miocenski sprijeti sedimenti (peščenjak in konglomerat); podpovprečne nadmorske višine in podpovprečni nakloni; zmerno celinsko podnebje vzhodne Slovenije; močno nadpovprečna gostota rečne mreže in nadpovprečni reliefni indeks vlažnosti; prevladujoča gozdna združba je *Castaneo sativae-Fagetum* pojavljajo se tudi negozdne združbe in antropogena raba; prevladujoča oblika rabe tal je gozd.

- Kjer so prevladujoče tipične evtrične rjave prsti. Pojavljajo se miocenski sprijeti sedimenti (lapor); povprečne nadmorske višine in podpovprečni nakloni; zmerno celinsko podnebje osrednje Slovenije; nadpovprečna gostota rečne mreže; prevladujejo gozdna združba je *Castaneo sativae-Fagetum* pojavljajo se tudi negozdne združbe in antropogena raba; prevladujoča oblika rabe tal so travniki.
- Kjer so prevladujoči pobočni distrični, srednje globoki in srednje izraženi psevdogleji. Pojavljajo se pliocenski peščeno-glinasti sedimenti; podpovprečne nadmorske višine in podpovprečni nakloni; zmerno celinsko podnebje vzhodne Slovenije; nadpovprečna gostota rečne mreže in povprečni reliefni indeks vlažnosti; prevladujoča gozdna združba je *Galio rotundifolii-Pinetum sylvestris* pojavljajo se tudi negozdne združbe in antropogena raba; prevladujoča oblika rabe tal je gozd.

### 7. Ravnine in širše doline v gričevju notranjega dela Slovenije

- Kjer so prevladujoče karbonatne in srednje globoke obrečne prsti. Pojavlja se holocenski peščeno prodnati aluvij; močno podpovprečne nadmorske višine, brez naklona; zmerno celinsko podnebje vzhodne Slovenije; povprečna gostota rečne mreže in močno nadpovprečni reliefni indeks vlažnosti; prevladujejo negozdne združbe in antropogena raba; prevladujoča oblika rabe tal njive.
- Kjer so prevladujoči mineralni, srednje močni in evtrični hipogleji. Pojavlja se holocenski ilovnati aluvij; močno podpovprečne nadmorske višine, brez naklona; zmerno celinsko podnebje vzhodne Slovenije; močno nadpovprečna gostota rečne mreže in nadpovprečni reliefni indeks vlažnosti; prevladujejo negozdne združbe in antropogena raba, pojavlja se tudi gozdna združba *Castaneo sativae-Fagetum*; prevladujoča oblika rabe tal so njive.
- Kjer so prevladujoči distrični, mineralni in močni hipogleji s prodom. Pojavljajo se holocenski drobni sedimenti; močno podpovprečne nadmorske višine, brez naklona; zmerno celinsko podnebje vzhodne Slovenije; močno nadpovprečna gostota rečne mreže in močno nadpovprečni reliefni indeks vlažnosti; prevladujejo negozdne združbe in antropogena raba, pojavlja se tudi gozdna združba *Piceo abietis-Quercetum roboris*; prevladujoča oblika rabe tal je gozd.

**8. Kraška polja in podolja**, kjer so prevladujoče tipične rjave pokarbonatne prsti, ki se prepletajo s koluvialnimi. Pojavlja se trda, karbonatna matična podlaga, pretežno apnenčasta; malo nadpovprečne nadmorske višine in podpovprečni nakloni 3°; zmerno celinsko podnebje zahodne in južne Slovenije; neznatna gostota rečne mreže in povprečni reliefni indeks vlažnosti; prevladujoča gozdna združba je *Ostryo-Fagetum*; prevladujoča oblika rabe tal so travniki.

**9. Nizki kras Notranjske in Dolenjske**, kjer so prevladujoče sprsteninaste rendzine, ki se prepletajo s rjavimi pokarbonatnimi prstmi. Pojavlja se trda, karbonatna matična podlaga; povprečne nadmorske višine in povprečni nakloni; zmerno celinsko podnebje osrednje Slovenije; neznatna gostota rečne mreže in podpovprečni reliefni indeks vlažnosti; prevladujoči gozdni združbi sta *Ostryo-Fagetum* in *Lamio orvalae-Fagetum*; prevladujoča oblika rabe tal je gozd.

**10. Nizki kras Bele krajine**, kjer so prevladujoče tipična izprane prsti (luvisol). Pojavlja se trda, karbonatna matična podlaga; podpovprečne nadmorske višine in podpovprečni nakloni; zmerno celinsko podnebje jugovzhodne Slovenije; odsotna rečna mreža in povprečni reliefni indeks vlažnosti; prevladujoča gozdna združba je *Hacquetio epipactidis-Fagetum*; prevladujoča oblika rabe tal je gozd.

**11. Kras in Podgorski kras**, kjer prevladujejo tipične rdeče-rjava prsti (terra rossa, kremenica), ki se prepletajo z izprano varianto istega tipa. Pojavlja se trda, karbonatna matična podlaga, pretežno apnenec; podpovprečne nadmorske višine in močno podpovprečni nakloni; zaledno submediteransko podnebje; odsotna rečna mreža in povprečni reliefni indeks vlažnosti; prevladujoča gozdna združba je *Ostryo carpinifoliae-Quercetum pubescentis*; prevladujoča oblika rabe tal so travniki.

**12. Gričevje v primorskem delu Slovenije**, kjer prevladujejo plitve karbonatne rjava prsti, ki so pogosto antropogeno preoblikovane (rigolane). Pojavlja se eocenski fliš; podpovprečne nadmorske višine in podpovprečni nakloni; zaledno submediteransko podnebje; nadpovprečna gostota rečne mreže in nadpovprečni reliefni indeks vlažnosti; prevladujoča gozdna združba je *Seslerio autumnalis-Quercetum pubescentis*; prevladujoča oblika rabe tal je gozd.

**13. Širše doline in obalne ravnice v primorskem delu Slovenije**, kjer prevladujejo evtrični, mineralni in srednje močni hipogleji. Pojavljajo se morski sedimenti; neznatne nadmorske višine, brez naklona; obalno submediteransko podnebje; močno nadpovprečna gostota rečne mreže in nadpovprečni reliefni indeks vlažnosti; prevladujejo negozdne združbe in antropogena raba; prevladujoča oblika rabe tal so pozidane površine.

*Preglednica 2: Kvantitativna in kvalitativna opredelitev PEP-ov.*

oznaka PEP-ov	01	02	03a	03b	04a	04b	05a	05b	05c
površine PEP-ov (ha)	2797,7	425,5	708,9	176,3	713,9	331,1	381,0	480,4	679,8
minimalna NMV (m)	1293	155	855	918	699	348	279	405	287
maksimalna NMV (m)	2645	212	1361	1201	1457	629	297	504	289
razpon NMV (m)	1352	57	506	283	758	281	18	99	2
popovprečna NMV (m)	2056,9	177,4	1103,9	1066,5	1058,8	482,1	287,3	454,1	288,0
minimalni naklon (°)	1,54	0,00	0,93	3,01	2,02	0,82	0,00	0,32	0,00
maksimalni naklon (°)	74,91	24,45	33,69	24,62	31,82	26,58	1,22	10,24	0,30
razpon naklonov (°)	73,37	24,45	32,76	21,61	29,80	25,77	1,22	9,92	0,30
popovprečni naklon (°)	37,92	2,69	17,27	15,24	19,01	11,42	0,32	3,43	0,01
prevladujoča ekspozicija	SV	JZ	S	Z	SV	SV	J	JV	brez
minimalno zastopana ekspozicija	JZ	brez	brez	V	brez	brez	S	brez	S
mediana ekspozicije	JV	J	S	JZ	SV	V	J	J	brez
minimalna ukrivljenost plastnic	-2,648	-0,237	-0,365	-0,371	-0,478	-0,323	-0,020	-0,202	-0,020
maksimalna ukrivljenost plastnic	2,383	0,150	0,380	0,371	0,521	0,472	0,023	0,200	0,020
razpon ukrivljenosti plastnic	5,031	0,387	0,745	0,743	0,999	0,795	0,043	0,402	0,040
popovprečna ukrivljenost plastnic	0,048	-0,013	0,019	0,070	-0,027	0,008	0,000	0,009	0,000
minimalna ukrivljenost profila	-4,808	-0,231	-0,480	-0,451	-0,415	-0,384	-0,022	-0,218	-0,010
maksimalna ukrivljenost profila	2,918	0,461	0,417	0,264	0,580	0,368	0,016	0,204	0,013
razpon ukrivljenosti profila	7,726	0,692	0,897	0,715	0,995	0,752	0,038	0,422	0,023
popovprečna ukrivljenost profila	-0,056	0,064	-0,004	-0,047	0,030	0,024	-0,001	-0,006	0,000
popovprečna letna količina padavin (mm)	2000–2500	2500–3000	1800–2000	2000–2500	1400–1500	1600–1800	1200–1300	1400–1500	1300–1400
popovprečna letna temperatura (°C)	0–2	10–12	4–6	6–8	5–7	8–10	8–10	8–10	8–10
minimalna evapotranspiracija (mm)	613,987	767,868	655,486	801,051	752,338	772,876	699,728	654,492	762,606
maksimalna evapotranspiracija (mm)	648,876	780,401	667,806	807,374	782,513	774,491	707,427	663,851	765,771
razpon evapotranspiracije (mm)	34,889	12,533	12,321	6,323	30,175	1,615	7,700	9,359	3,165
popovprečna evapotranspiracija (mm)	631,671	776,215	659,776	804,416	766,061	773,853	702,874	658,513	764,617
minimalna količina prejetega sončnega obsevanja (MJ/m <sup>2</sup> )	856,465	2500,140	2233,400	2681,800	2350,870	2916,500	4002,670	3249,700	4073,760
maksimalna količina prejetega sončnega obsevanja (MJ/m <sup>2</sup> )	4654,860	4304,750	4598,570	4529,130	4483,800	4724,690	4089,090	4445,070	4141,250
razpon količine prejetega sončnega obsevanja (MJ/m <sup>2</sup> )	3798,400	1804,610	2365,170	1847,330	2132,920	1808,190	86,413	1195,370	67,497
popovprečna količina prejetega sončnega obsevanja (MJ/m <sup>2</sup> )	3093,540	3909,420	3352,340	3699,460	3379,240	3996,120	4060,010	4155,200	4107,400
minimalna gostota rečne mreže	0,4896	1,0367	0,0000	0,0001	1,9048	1,9813	1,4017	1,8188	2,7871
maksimalna gostota rečne mreže	1,8208	1,5683	0,0000	0,0830	2,4222	3,0497	1,6256	2,6572	3,7698
razpon gostote rečne mreže	1,3311	0,5316	0,0000	0,0829	0,5174	1,0684	0,2239	0,8383	0,9827
popovprečna gostota rečne mreže	0,8430	1,2816	0,0000	0,0157	2,0543	2,5109	1,5486	2,4317	3,4445
minimalni reliefni indeks vlažnosti	4,34	5,46	5,16	5,45	5,26	5,45	8,57	6,33	25,00
maksimalni reliefni indeks vlažnosti	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
razpon reliefnega indeksa vlažnosti	20,66	19,54	19,84	19,55	19,74	19,55	16,43	18,67	0,00
popovprečni reliefni indeks vlažnosti	13,00	20,84	11,83	14,91	11,24	13,94	15,80	17,05	25,00

Značilne kombinacije pedogenetskih dejavnikov v Sloveniji

06a	06b	06c	07a	07b	07c	08	09	10	11	12	13
555,5	1175,8	543,4	956,0	1100,4	1233,2	229,0	1374,9	612,6	112,8	77,6	271,4
244	387	217	146	184	162	555	256	207	180	220	0
321	618	319	161	212	168	678	699	363	254	322	18
77	231	102	15	28	6	123	443	156	74	102	18
279,4	498,8	268,9	153,0	194,0	164,5	611,4	503,8	263,3	217,6	278,4	2,5
0,10	0,14	0,10	0,00	0,00	0,00	0,41	0,77	0,10	0,41	0,79	0,00
12,15	17,01	11,29	5,28	10,49	0,62	10,83	25,78	17,14	9,28	13,51	9,79
12,05	16,87	11,19	5,28	10,49	0,62	10,43	25,01	17,04	8,87	12,72	9,79
5,66	7,32	5,37	0,31	0,72	0,14	3,84	10,53	4,91	4,55	8,93	1,16
SV	V	V	brez	brez	brez	SV	SV	S	V	SV	brez
brez	S	S	SV	SV	SV	J	brez	brez	S	Z	Z
V	J	J	V	JV	SV	SV	V	J	JV	JZ	J
-0,251	-0,281	-0,160	-0,040	-0,070	-0,020	-0,140	-0,240	-0,277	-0,248	-0,060	-0,090
0,340	0,317	0,139	0,040	0,062	0,020	0,108	0,413	0,236	0,097	0,204	0,066
0,591	0,598	0,299	0,080	0,131	0,040	0,248	0,653	0,513	0,345	0,264	0,156
0,013	0,005	0,008	0,000	-0,001	0,000	-0,009	0,019	0,014	-0,015	0,026	-0,001
-0,268	-0,273	-0,170	-0,036	-0,023	-0,020	-0,084	-0,388	-0,210	-0,085	-0,256	-0,050
0,208	0,265	0,165	0,090	0,171	0,020	0,170	0,284	0,212	0,238	0,103	0,136
0,476	0,538	0,335	0,126	0,193	0,040	0,254	0,672	0,422	0,323	0,359	0,186
-0,016	0,010	-0,003	0,002	0,012	0,000	0,031	0,004	0,003	0,022	-0,055	0,015
900-	1200-	800-	1000-	800-	750-	1600-	1300-	1200-	1500-	1100-	1000-
1000	1300	900	1100	1000	800	1800	1400	1300	1600	1200	1100
8-10	8-10	8-10	10-12	10-12	8-10	6-8	8-10	8-10	11-13	11-13	12-14
651,122	736,810	720,551	753,386	686,804	707,780	691,572	758,137	697,543	774,141	881,875	869,435
668,640	750,500	731,543	761,238	691,473	731,662	691,572	770,864	702,947	774,141	881,875	876,063
17,518	13,690	10,993	7,852	4,669	23,881	0,000	12,727	5,404	0,000	0,000	6,628
661,529	744,211	728,186	758,387	689,876	720,290	691,572	764,337	700,269	774,141	881,875	872,749
3184,090	3374,560	3809,540	3978,960	3641,040	4147,390	3406,980	2807,290	3365,860	3382,050	3877,480	3915,230
4662,040	4625,490	4550,450	4243,060	4489,660	4237,560	4074,110	4614,970	4615,180	4806,890	5163,500	4747,370
1477,950	1250,940	740,913	264,102	848,615	90,174	667,130	1807,680	1249,320	1424,840	1286,020	832,139
4190,650	4135,280	4229,880	4167,030	4191,580	4201,890	3933,050	3893,500	4120,750	4465,830	4716,430	4573,400
2,0367	1,5147	1,4091	0,3992	1,8660	1,4964	0,1021	0,0083	0,0042	0,0000	1,7825	1,5016
2,2750	2,1129	2,2693	1,6004	2,5643	2,7861	0,1329	0,5152	0,0603	0,0001	1,8395	3,1951
0,2383	0,5982	0,8602	1,2012	0,6983	1,2897	0,0308	0,5069	0,0561	0,0001	0,0571	1,6935
2,2160	1,8852	1,5914	0,8537	2,3229	2,0307	0,1234	0,2419	0,0227	0,0000	1,8093	2,8300
6,16	5,82	6,23	7,68	6,42	9,21	6,48	5,42	5,81	6,64	6,05	6,37
25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
18,84	19,18	18,77	17,32	18,58	15,79	18,52	19,58	19,19	18,36	18,95	18,63
17,05	14,72	14,11	18,55	16,88	20,49	14,33	12,89	15,40	14,31	16,59	17,11

## 4 Sklep

Vsak informacijski sistem in digitalni zemljevidi, ki za podlago jemljejo modeliranje digitalnih slojev podatkov, so le tako dobri in zanesljivi, kolikor so dobri, zanesljivi in kvalitetni izvorni digitalni podatki. Slovenija premore sorazmerno zadostno število digitalnih podatkov, s katerimi je mogoče zadovoljivo opredeliti pedogenetske in morfometrične dejavnike za pokrajinske enote prsti. Podatke je v večji meri mogoče uporabiti v algoritmih za izdelavo novega, natančnejšega pedološkega zemljevida, vendar je še mnogo prostora za nujne izboljšave.

Za nadaljnje, predvsem pa natančnejše in kvalitetnejše delo na področju pedogenetskega in morfometričnega opredeljevanja pokrajinskih enot prsti bi bilo nujno izboljšati raznovrstnost in natančnost digitalnih baz podatkov, med katerimi je pokrajinskih enot prsti a izpostaviti:

- geološke zemljevide: podatki Osnovne geološke karte Slovenije v merilu 1 : 100.000 so na voljo, vendar niso primerni za detajlno delo; geološki zemljevidi merila 1 : 25.000 so le v rokopiisni obliki, katerih objava ni dovoljena. Za delo primerni bi bili zemljevidi merila 1 : 10.000 ali celo 1 : 5000.
- vegetacijski zemljevidi: v digitalni obliki je na voljo le Vegetacijska karta gozdnih združb v merilu 1 : 400.000 in dva lista v merilu. 1 : 50.000. Digitalni zemljevidi merila 1 : 25.000 bi bili zelo dobrodošli.
- digitalni model višin: obstoječi digitalni model, natančnosti 5 krat 5 metrov, bi ob ustreznih popravkih natančnosti dovolj dobro služil opredeljevanje KTE, vendar bi za podrobno delo nujno potrebovali podatke LIDAR laserskega snemanja preučevanega območja.
- vodni podatki: podatkov o količini vode v prsteh pokrajinskih enot prsti v merilu celotne Slovenije ni, zato jih v glavnem računamo in pridobivamo iz podatkov digitalnega modela nadmorskih višin, za kar je pomembna uporaba kar najkvalitetnejšega modela višin.
- podnebni podatki: obstoječa mreža meteoroloških postaj in iz njih izračunani in interpolirani podatki zadoščajo za splošno opredelitev podnebnih dejavnikov. Za podrobne analize podatke izračunamo na podlagi reliefnih parametrov, torej zopet digitalnega iz modela višin.

Izločevanje območij, za katere lahko predpostavimo homogeno delovanje pedogenetskih dejavnikov ima že dolgo tradicijo. Za že omenjeno Jennyjevo formulo so se pojavile ideje o dominantnih faktorjih in modelih, kjer enega ohranjamo konstantnega, ostale pa spreminjamo (klimo-, bio-, topo-, lito- in kronofunkcije). Izmed vseh se je še najbolj oprijel »koncept katene« (Milne 1935, po Gerrard 1992), ki temelji na naklonu pobočij in jo je avtor označil kot »enoto, primerno za kartiranje«. Gre za skupino prsti, ki so v naravnem klasifikacijskem sistemu lahko v povsem različnih skupinah, vendar so med seboj povezane na podlagi skupnih reliefnih značilnosti ter se pojavljalo v istih medsebojnih razmerjih povsod tam, kjer najdemo iste reliefne značilnosti. Sorodna ideja izhaja iz slovenskega prostora, ki jo je postavil Stritar (1990) v okviru pedosekvenc, ko je izpostavil matično podlago kot dominanten pedogenetski dejavnik. Predstavil genetske serije prsti na 5 skupinah matične podlage in sicer na holocenskem glaciofluvialnem, v glavnem karbonatnem produ in pesku, na nekarbonatnih pleistocenskih glinah in ilovicah, na mehkih karbonatnih kamninah (lapor in fliš), na trdih karbonatnih kamninah (apnenec in dolomit) in na različnih nekarbonatnih kamninah. Tudi pedosekvence, znotraj skupne matične podlage izdvajajo območja z enotnimi pedogenetskimi dejavniki, kjer so odločilni elementi starost površja in vodne razmere. Ker so pedosekvence izrazito naravnane na kmetijsko rabo, so pomanjkljive in premalo natančne za gozdna in hribovsko-gorska območja. Poleg tega pedosekvence preveč zanemarjajo vpliv podnebja, ki ima kljub majhnosti Slovenije, sorazmerno pomemben vpliv (Repe 2006)

S kombinacijo principov »katene«, ki upošteva predvsem reliefne, to je morfometrične parametre, pedosekvenc, ki izpostavlja matično podlago ter ostalimi nemorfometričnimi parametri lahko bistveno izboljšamo tudi obstoječo Pedološko karto.

## 5 Viri in literatura

- Campbell, J. B. 2002: Introduction to Remote Sensing. London.
- Gabrovec, M. 1996: Solar radiation and the diverse relief of Slovenia. Geografski zbornik 34. Ljubljana.
- Gams, I. 1972: Prispevek k klimatogeografski delitvi Slovenije. Geografski zbornik 19-1. Ljubljana.
- Gerrard, J. 1992: Soil Geomorphology. An Integration of Pedology and Geomorphology London.
- Grunwald, S. 2006: Environmental Soil-Landscape Modeling. Geographic Information Technologies and Pedometrics. New York.
- Hočevar, H., Vidic, J. N. 1998: Izbrana poglavja iz geologije. Ljubljana.
- Jenny, H. 1941: Factors of Soil Formation. New York.
- Kokalj, Ž. 2004: Vrednotenje pokrajinskoekoloških tipov Slovenije v luči pokrovnosti izdelane s klasifikacijo satelitskih posnetkov Landsat. Diplomsko delo, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo, Ljubljana.
- Krevs, M., Rebernik, D., Lampič, B., Repe, B., Cigale, D. 2004: Dinamika spreminjanja kategorij poseljitvene rabe zemljišč v Sloveniji v obdobju 1991–2002: zaključno poročilo. Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo, Ljubljana.
- Lobnik, F., Hudnik, V., Turk, I., Prus, T., Vrščaj, B., Zupan, M., Kadunc, V., Mihelič, R. 1994: Tudi tla so del okolja. Okolje v Sloveniji. Ljubljana.
- Lovrenčak, F. 1994: Pedogeografija. Ljubljana.
- Marinček, L., Čarni, A. 2002: Komentar k vegetacijski karti gozdnih združb Slovenije v merilu 1 : 400.000. Ljubljana.
- McBratney, A. B., Mendoca Santos, M. L., Minasny, B. 2003: On Digital Soil Mapping. Geoderma 17. London.
- Milne, G. 1935: Some suggested units of classification and mapping particularly for East African soils. Soils Research 4-3. New York.
- Natek, K. 2003: Tipi površja v Sloveniji. Geografski obzornik 40-4, Ljubljana.
- Ogrin, D. 1996: Podnebni tipi v Sloveniji. Geografski vestnik 68. Ljubljana.
- Podnebne razmere v Sloveniji 1971–2000. 2006. Agencija republike Slovenije za okolje. Ljubljana.
- Pokrovnost in raba tal MKGP, 2009. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Ljubljana. Medmrežje: <http://rkg.gov.si/GERK/> (10. 12. 2009).
- Prus, T. 2000: Klasifikacija tal. Študijsko gradivo za cikel predavanj. Medmrežje <http://www.bf.uni-lj.si/cpvo/Novo/PDFs/KlasifikacijaTal.pdf> (7. 6. 2004).
- Repe, B. 2005: Novi pristopi pri proučevanju prsti v pokrajini. Dela 26. Ljubljana.
- Repe, B. 2006: Pedogeografska karta in njena uporabnost v geografiji. Doktorsko delo, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo, Ljubljana.
- Repe, B. 2007: Voda v prsti in ugotavljanje njenega razporejanja v odvisnosti od reliefa. Dela 28. Ljubljana.
- Repe, B. 2009: Pedogenetske in morfometrične opredelitve krajinsko-talnih enot (KTE) Slovenije. CRP V2 0511. Filozofska fakulteta, Ljubljana.
- Scull, P., Franklin, J., Chadwick, O. A., McArthur, D. 2003: Predictive soil mapping: a review. Progress in Physical Geography 27-2. London.
- Sinha, A. K. 1990: Stratigraphic mapping of sedimentary formations in southern Ontario by ground electromagnetic methods. Geophysics 55. New York.
- Stritar, A. 1973: Pedologija. Ljubljana.
- Stritar, A. 1990: Krajina, krajinski sistemi. Raba in varstvo tal v Sloveniji. Ljubljana.
- Tarboton, D. G. 2005: Terrain Analysis Using Digital Elevation Models (TauDEM). Priročnik za uporabo programskega paketa TAUDem. Medmrežje: <http://hydrology.neng.usu.edu/taudem/> (11. 4. 2006).
- Vrščaj, B. 2008: Digitalna kartografija tal v Sloveniji med letoma 1987 in 2007 – razvoj, dosežki in bodoče izboljšave. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008. Ljubljana.

- Western, A. W., Grayson, R. B., Bloschl, G., Willgoose, G. R., McMahon, T. A. 1999: Observed spatial organization of soil moisture and its relation to terrain indices. *Water Resources Research* 35-3. San Francisco.
- Zupančič, M., Marinček, L., Seliškar, A., Puncer, I. 1989: Consideration on the phytogeographic division of Slovenia. *Biogeografia* 13. Bologna.

## UGOTAVLJANJE PLAZOVITOSTI Z METODO ODLOČITVENIH DREVES

**Rok Ciglič, dr. Matija Zorn, dr. Blaž Komac**

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

UDK: 911.2:551.4(497.4)

### IZVLEČEK

#### **Ugotavljanje plazovitosti z metodo odločitvenih dreves**

V zadnjih letih so za preučevanje plazovitosti začeli uporabljati metode strojnega učenja, predvsem metodo odločitvenih dreves. V prispevku predstavljamo omenjeno metodo oziroma sestavljanje modela plazovitosti z njeno pomočjo na primeru Katastrske občine Medana v Goriških brdih. Model odločitvenega drevesa smo prenesli v GIS ter izdelali zemljevid plazovitosti. Rezultate primerjamo z rezultati nekaterih drugih metod, s katerimi smo v preteklosti ugotavljali plazovitost istega območja.

### KLJUČNE BESEDE

geografija, geomorfologija, zemljevidi plazovitosti, strojno učenje, metoda odločitvenih dreves, Goriška brda, Slovenija

### ABSTRACT

#### **Landslide hazard assessment with the help of the decision tree method**

In the last few years methods of machine learning, especially the decision tree method, have been used in landslide research. In this paper the decision tree method was used in order to develop a landslide hazard model on the example of the Medana Cadastral municipality in the Goriška brda hills (W Slovenia). The decision tree model was applied to GIS and the landslide hazard map was elaborated. The results of the method were compared to the results of other methods which had been previously used for landslide hazard assessment for the same area.

### KEY WORDS

geography, geomorphology, landslide hazard maps, machine learning, decision tree method, Goriška brda hills, Slovenia



## 1 Uvod

V knjigi Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008 (Zorn in Komac 2008b, 54–55) smo za modeliranje plazovitosti zapisali, da »... je le malo predmetov preučevanja, pri katerih so GIS postali tako pomembni. ... Na pospešen razvoj modeliranja sta vplivala predvsem kakovost digitalnega modela višin ..., in razvoj primernih programskih orodij...«.

V Sloveniji, kjer v povprečju lahko pričakujemo 0,4 zemeljskega plazua na kvadratni kilometer (Zorn in Komac 2008a), je modeliranje plazovitosti in izdelovanje zemljevidov plazovitosti nujno za učinkovito borbo proti njim (Komac in Zorn 2005; 2008; Zorn in Komac 2006; 2008a).

S pomočjo geografskih informacijskih sistemov in digitalne kartografije so se razvile številne posredne oziroma kvantitativne metode (Zorn in Komac 2008, 63) za izdelovanje zemljevidov plazovitosti. V svetu danes prevladujejo statistične metode, ki temeljijo na bivariantni ali multivariantni statistiki. Takšne metode so v uporabi tudi v Sloveniji (na primer Komac 2004; Zorn in Komac 2008a; 2008b). Vendar imajo omenjene metode tudi pomanjkljivost, saj na primer razmerja med pokrajinskimi prvinami niso vedno linearna, hkrati pa se jih ne da vedno opredeliti z enačbami. Zato v zadnjih letih pospešeno razvijajo metode, s katerimi bi lahko zaobjeli kompleksna nelinearna razmerja med pokrajinskimi prvinami, ne da bi jih morali pred tem prilagajati modelu (Chu, Tsai in Chang 2009, 479). Takšne so na primer metode (za primere glej navedbe v člankih: Chu, Tsai in Chang 2009; Saito, Nakayama in Matsuyama 2009; Nefeslioglu s sodelavci 2010) mehkih množic (angleško *fuzzy sets*), nevronske mreže (*neural network*) ter metode strojnega učenja (*machine learning methods*), med katere spada tudi metoda gradnje oziroma sestavljanja odločitvenega drevesa (*decision-tree model*), ki jo predstavljamo v nadaljevanju.

Poleg v uvodnem stavku omenjenega članka so v monografijah Geografski informacijski sistemi v Sloveniji povezavo med preučevanjem zemeljskih plazov in GIS-a predstavili še Ribičič in Šinigojeva (1996), Komac (2004; 2006), Komac s sodelavci (2008) ter Komac in Jemčeva (2010).

## 2 Metoda

Odločitvena drevesa spadajo v skupino klasifikacijskih metod strojnega učenja. Slednje pomeni opisovanje ali modeliranje podatkov; vhod v sistem za strojno učenje so podatki in predznanje o procesih, izhod pa razlaga (model, hipoteza), ki omenjene podatke skupaj s predznanjem opisuje in pojasnjuje (Kononenko 2005, 61). Odločitvena drevesa in druge metode strojnega učenja uporabljamo na različnih področjih, na primer v gozdarstvu, kmetijstvu, kemijskih analizah in seizmologiji (Atanasova s sodelavci 2009).

Razvrščanje je ena izmed najpogosteje uporabljenih metod strojnega učenja. Z vrstniki ali klasifikatorji poskušamo določiti, kateremu izmed možnih razredov oziroma vrednosti napovedane spremenljivke pripada določen objekt (enota), ki je opisan z množico pojasnjevalnih spremenljivk oziroma lastnosti.

Pri metodi sestavljanja odločitvenega drevesa izbiramo spremenljivke glede na oceno njihove informativnosti ter tako ustvarimo ustrezne podmnožice, iz katerih glede na njihove pripisane vrednosti sestavljamo odločitveno drevo oziroma povezano sosledje pravil. Z metodo lahko pojasnimo obstoječe podatke ter tudi napovedujemo nove vrednosti (Kononenko 2005, 2–3; Witten in Frank 2005).

Poglavitni namen odločitvenega drevesa je, da na jedrnat in razumljiv način predstavi razmerja med napovedano spremenljivko (tisto spremenljivko, katere vrednosti modeliramo, napovedujemo, *objective variable*) in enim ali več pojasnjevalnimi spremenljivkami (*explanatory variable*). Odločitvena drevesa si lahko vizualno dobro predstavljamo, pravila pa so jasno izražena, zato je rezultat lažje interpretirati kot delovanje nevronske mreže, kjer je način delovanja skrit znotraj mreže in govorimo o t. i. črni skrinjici (Breskvar Žaucer in Marušič 2006, 236; Saito, Nakayama in Matsuyama 2009, 113).

Odločitveno drevo sestavljajo notranja vozlišča, ki ustrezajo pojasnjevalnim spremenljivkam, veje, ki ustrezajo podmnožicam z vrednostmi pojasnjevalnih spremenljivk, in listi oziroma končna vozlišča, ki ustrezajo vrednostim napovedane spremenljivke (Mitchell 1997, 49; Kononenko 2005, 129).

Sestavljanje odločitvenega drevesa poteka v splošnem tako, da najprej izberemo najbolj informativno spremenljivko (v primeru zemeljskih plazov sta to ponavadi kamninska sestava in naklon). Na podlagi vrednosti izbrane pojasnjevalne spremenljivke vse enote (celice), ki so vključene v sestavljanje odločitvenega drevesa, po vejah (ki predstavljajo vrednosti pojasnjevalne spremenljivke) porazdelimo v skupine oziroma notranja vozlišča. Pri nominalnih spremenljivkah ima vsaka vrednost svojo vejo, pri številskih spremenljivkah pa se vrednosti navadno diskretizirajo oziroma porazdelijo v dva ali več razredov. Proces ponavljamo, dokler skupina enot na koncu veje ni dovolj »čista« oziroma ne zadosti določenim pogojem ter tvori list drevesa oziroma končno vozlišče. To označuje vrednost napovedane spremenljivke, vsebuje pa enote, ki so se vanj uvrstile glede na pravila, ki so bila ob izboru spremenljivk določena v posameznih predhodnih vozliščih (Witten in Frank 2005).

Pomemben del sestavljanja odločitvenega drevesa je torej izbiranje najboljše spremenljivke. Izbiira temelji na količini informacije, ki jo izražamo v bitih; merimo jo najpogosteje z informacijskim prispevkom (*information gain*) in razmerjem informacijskega prispevka (*gain ratio*) (Kononenko 2005; Witten in Frank 2005).

Z odločitvenim drevesom lahko v analizo vključimo podatke različnih merskih lestvic, in to brez vnaprej določenih predpostavk o frekvenčni porazdelitvi (Saito, Nakayama in Matsuyama 2009, 113).

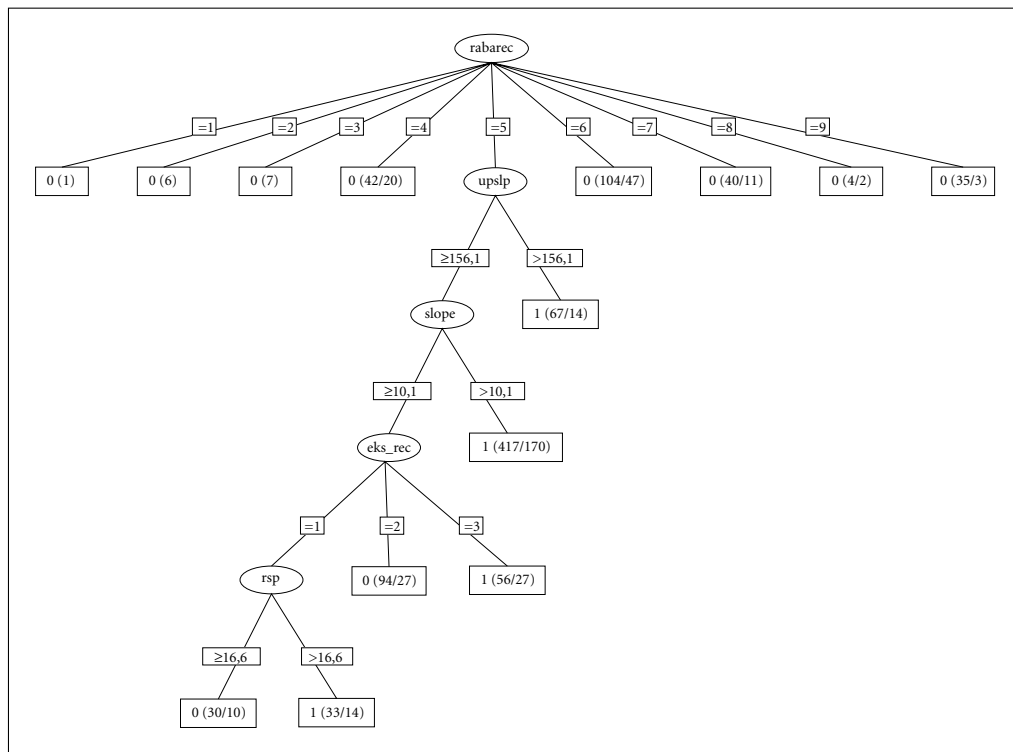
Metoda omogoča tudi sprotno preverjanje naučenega oziroma izdelanega modela. Zelo pogosto uporabljamo postopek prečnega preverjanja (*cross-validation*). Pri tem postopku enote razdelimo na več delov; za sestavljanje odločitvenega drevesa (oziroma določanje pravila) uporabimo le del enot, ostale pa uporabimo za preverjanje naučenega pravila. Standarden postopek za določanje napake napovedi naučenega modela je razdelitev na deset skupin (Witten in Frank 2005, 150). Pri takem postopku določimo pravilo na podlagi 90 % enot (primerkov, celic), s preostalimi 10 % pa preverimo njegovo uspešnost.

Metodo sestavljanja odločitvenih dreves uporabljamo na različnih področjih, zanimivo pa je, da tudi v svetu vse do pred nekaj leti ni bila razširjena za preučevanje plazovitosti ali drugih pobočnih procesov. V Sloveniji so jo do sedaj največ uporabljali v gozdarstvu. Tako so Kobler, Adamič in Džeroski (2000) metodo uporabili za določanje gozdne meje na podlagi satelitskih posnetkov ter raznih drugih prostorskih podatkov. Kutnar, Kobler in Bergant (2009) so jo uporabili pri analizi vpliva podnebnih sprememb na tipe gozdnega rastja, Kobler in Adamič (1999) pa za ugotavljanje primernih lokacij za izgradnjo mostov, namenjenih prehodu rjavega medveda prek avtocest. Med drugim so jo uporabili tudi za ugotavljanje zakonitosti v delovanju čistilne naprave (Atanasova in Kompare 2002). Več primerov uporabe pri nas navajata Džeroski (2002) in Močnik (2007).

### 3 Modeliranje plazovitosti v katastrski občini Medana

Metoda odločitvenih dreves je primerna tudi za preučevanje plazovitosti. Z odločitvenim drevesom lahko ob ustrezni podatkovni bazi, ki jo sestavljajo napovedana spremenljivka ter več pojasnjevalnih, razvrstimo celice med plazovite in neplazovite. Napovedana spremenljivka je v našem primeru pojavljanje zemeljskih plazov (z vrednostima 'plazovito' in 'neplazovito'), pojasnjevalnih spremenljivk pa je osem (preglednica 1). Zaradi notne kamninske sestave območja podatkovnega sloja o njej nismo uporabili.

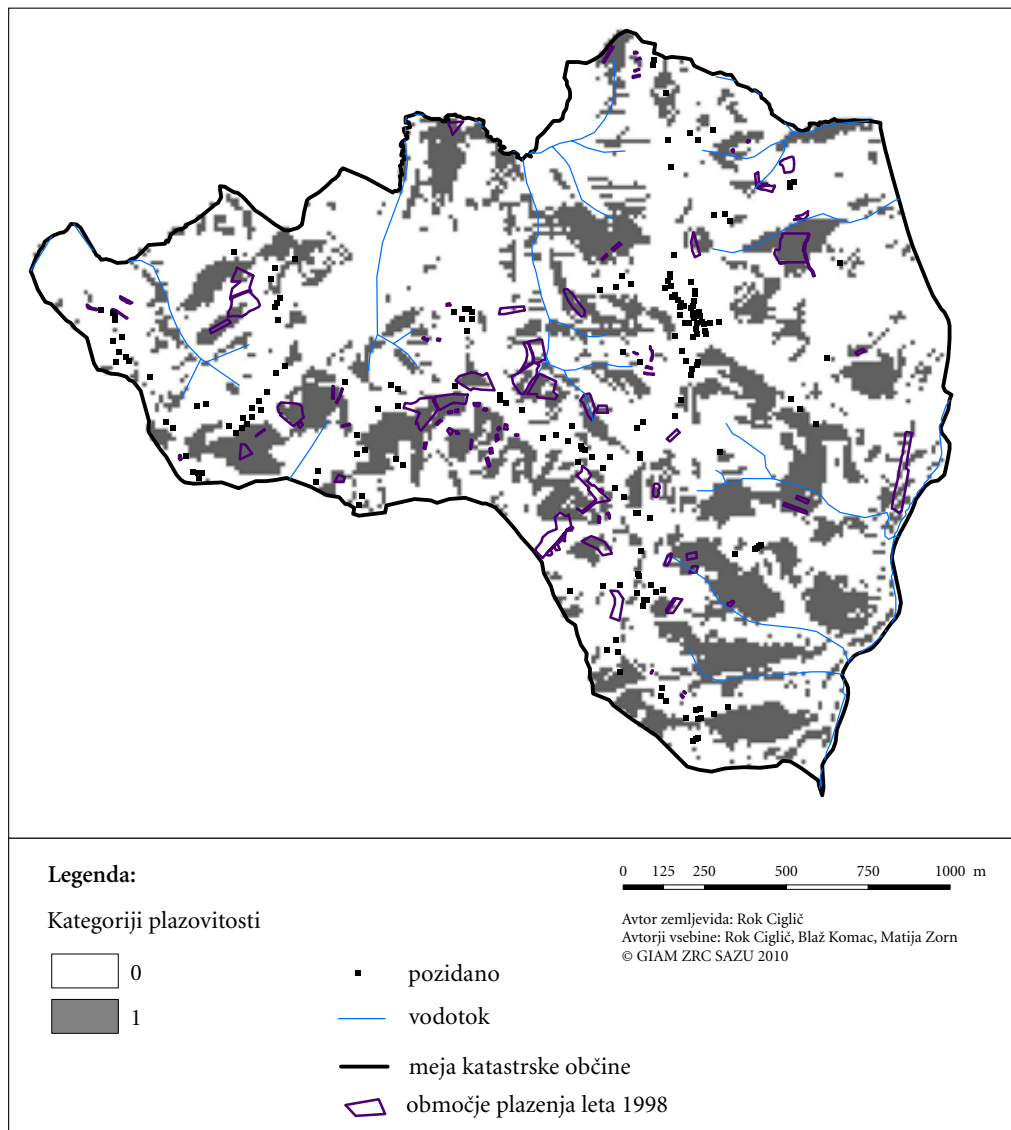
Za testno območje smo izbrali flišno pokrajino na območju katastrske občine Medana v Goriških brdih. Zaradi njene majhnosti, število celic digitalnega modela višin 12,5 m, ki jo sestavljajo, še ni predstavljala prevelike količine vhodnih podatkov za uporabljeno programsko opremo. V katastrski občini Medana, ki zavzema 330 ha, je bilo zabeleženih 520 celic, kjer so se zemeljski plazovi že pojavili. Izbrali smo še 10 vzorcev po 520 celic, kjer zemeljski plazovi še niso bili zabeleženi in desetkrat ponovili



Slika 1: Odločitveno drevo vzorca številka 1. Kategorija 0 pomeni 'neplazovito', kategorija 1 pa 'plazovito'. Veje predstavljajo vrednosti pojasnjevalnih spremenljivk oziroma ustrezen razpon njihovih vrednosti; končna vozlišča oziroma listi vsebujejo podatek o tem, katero vrednost napovedane spremenljivke predstavljajo (v našem primeru 0 ali 1), v oklepaju pa je izpisano število pravilno oziroma nepravilno uvrščenih enot (celic).

Preglednica 1: Uporabljeni podatkovni sloji.

atribut	oznaka atributa v drevesu (slika 1)	vrednosti
lega zemljskega plazu	plaz	0 = ni plaz; 1 = plaz
naklon površja	slope	v stopinjah
ekspozicija površja	eks_rec	1 = severna lega; 2 = drugo; 3 = južna lega
dolžina pobočij	upslp	v metrih
vodoravna ukrivljenost površja	plan	1 = < 0; 2 = 0; 3 = > 0
raba tal	rabarec	1 = ostalo; 2 = voda; 3 = njive in vrtovi; 4 = sadovnjak; 5 = vinograd; 6 = gozd; 7 = travnik; 8 = zemljišča v zaraščanju; 9 = pozidano
oddaljenost od vodotokov	voddis	v metrih
indeks moči vodnega toka	rsp	0–5847
indeks vlažnosti	wi_ln	0–100



Slika 2: Zemljevid plazovitih (1) in neplazovitih (0) območij, izdelan s pomočjo metode odločitvenega drevesa – primer osme ponovitve sestavljanja odločitvenega drevesa.

sestavlanje odločitvenega drevesa s po 1040 celicami. Pri tem je bil vzorec plazovitih celic vedno enak, razmerje plazovitih in neplazovitih celic pa 520:520.

Na zelo podoben način so metodo za preučevanje plazovitosti uporabili Chu, Tsai in Chang (2009), Saito, Nakayama in Matsuyama (2009) ter Nefeslioglu in ostali (2010).

Za pripravo podatkov in sestavljanje odločitvenih dreves ter uporabo njegovih pravil smo uporabili programe *Idrisi Taiga*, *TAS 2.0.7* (Lindsay 2005) ter *WEKA* (Hall s sodelavci 2009; WEKA 2010). Slednji omogoča sestavljanje odločitvenega drevesa z algoritmom J4.8 (Witten in Frank 2005, 373), ki

izhaja iz Quinlanovega algoritma ID3 (Quinlan 1986; Witten in Frank 2005). Model za oceno spremljivk uporablja razmerje informacijskega prispevka (Saito, Nakayama in Matsuyama 2009, 114). V program smo predhodno vnesli vrednosti nekaterih parametrov, ki smo jih določili po nekaj preizkusih na posameznih vzorcih ter priporočilih iz literature. Pri sestavljanju smo uporabili tako imenovano obrezovanje drevesa (*pruning*) na podlagi zmanjšanja napake (*reduced-error pruning*; Witten in Frank 2005, 193) s pomočjo razdelitve enot v deset skupin (*folds*) ter možnost uporabe premika posameznega dela drevesa na višjo raven (*subtree raising*). Določili smo še najmanjše število enot v končnih vozliščih (30), kar je približno 1 % vseh vrednosti. Nastavitve so veljale za vseh deset vzorčnih naborov celic.

Iz odločitvenega drevesa (slika 1) lahko razberemo pravilo preprosto tako, da potujemo od vrha do končnega vozlišča in medtem zabeležimo vsak pogoj (Witten in Frank 2005). Na podlagi take analize smo za katastrsko občino Medana ugotovili, da na plazenje vplivajo predvsem raba tal, dolžina pobočij in naklon ter tudi ekspozicija in indeks moči vodnega toka.

Z upoštevanjem omenjenih pravil smo naredili deset delnih zemljevidov, ki prikazujejo plazovita in neplazovita območja (primer je na sliki 2). Vseh deset zemljevidov smo nazadnje sešteli in dobili zemljevid z enajstimi kategorijami. Ta za vsako celico prikazuje, kako pogosto je bila v desetih poskusih posamezna celica opredeljena kot plazovita (vrednosti so v razponu med 0 'ni plazovito' in 10 'zelo plazovito', slika 3).

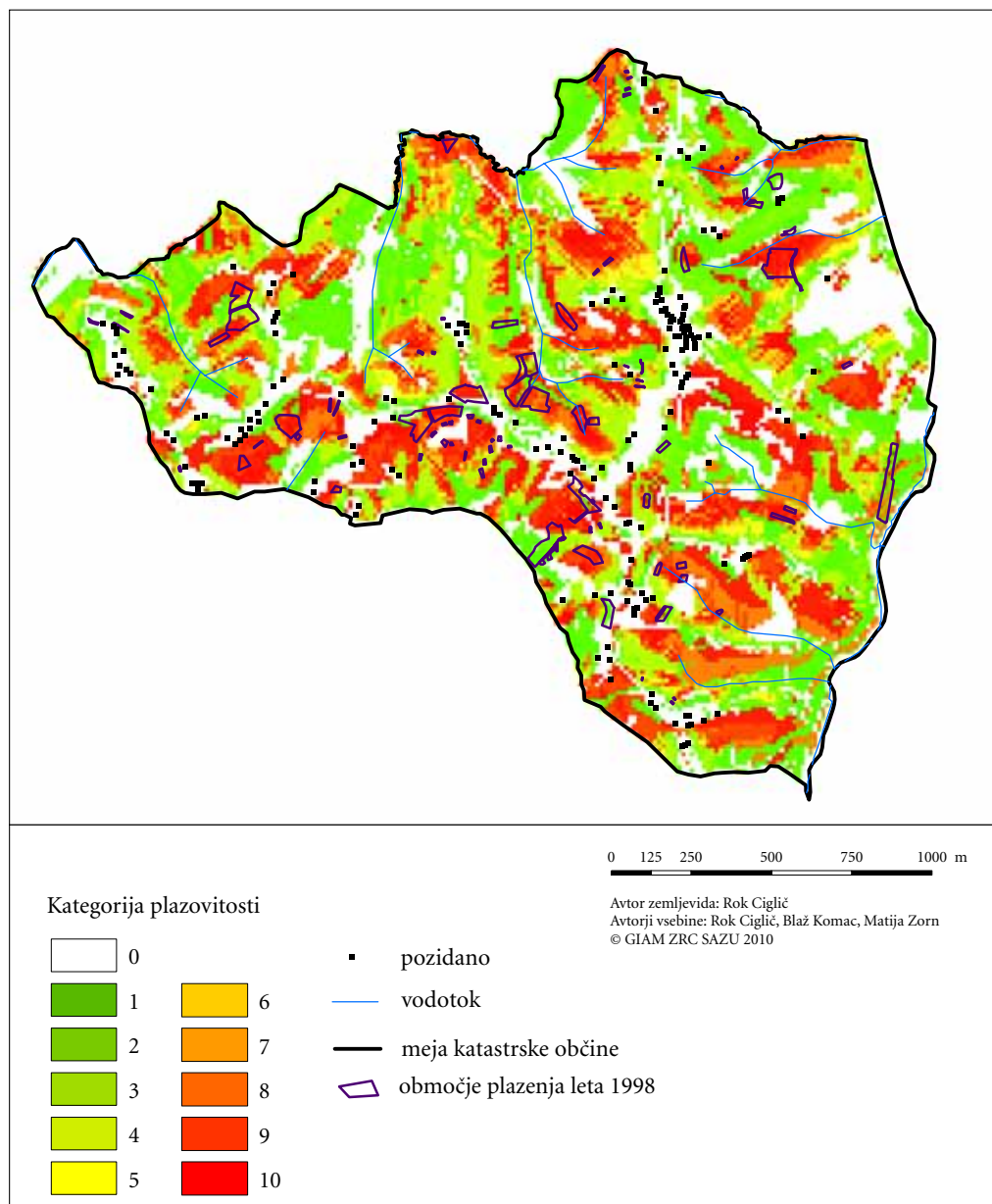
### 3.1 Vrednotenje modela

Model omogoča delno preverjanje rezultatov (preglednica 2) že pri sestavljanju drevesa, saj uporablja prečno preverjanje, torej razdelitev enot na tiste, iz katerih sestavlja, in tiste, s katerimi testira izdelani model. V analizi smo uporabili prečno preverjanje z razdelitvijo enot v deset skupin. Tako lahko ugotovimo, koliko enot (celic) je pravilno razvrščenih in tudi, kar je pomembneje, koliko plazovitih celic je dejansko označenih kot plazovitih.

Preglednica 2: Vrednotenje 10 odločitvenih dreves.

vzorec	pravilno določene celice (%)	plazovite celice, ki so po modelu označene kot plazovite (%)
1	61,7	53,8
2	61,0	65,0
3	60,0	58,7
4	64,1	59,8
5	61,5	70,4
6	64,1	64,0
7	63,5	66,9
8	64,9	58,1
9	59,8	69,2
10	63,1	68,3
povprečje	62,4	63,4

Zemljevid plazovitosti (slika 3), izdelan po prikazanem postopku, smo primerjali tudi z zemljevidi plazovitosti, narejenimi z drugimi metodami. Primerjavo smo izvedli z rezultati metode ponderiranja (Komac in Zorn 2007), Dempster-Shaferjevega algoritma (Zorn in Komac 2007; 2008) in logaritemske metode indeksiranja (Zorn in Komac 2009). Primerjali smo jih tako, da smo izračunali statistično povezanost med posameznimi zemljevidi. Ker podatki niso bili normalno porazdeljeni, smo izračunali Spearmanov koeficient korelacije (preglednica 3).



Slika 3: Zemljevid plazovitosti, izdelan z metodo odločitvenih dreves, kot seštevek desetih delnih zemljevidov plazovitosti.

Rezultati metode odločitvenih dreves so se najbolj povezovali z rezultati logaritemske metode indeksiranja (korelacija 0,50) ter rezultati metode ponderiranja (0,41); povezanost z rezultati metode po Dempster-Shaferjevem algoritmu je izredno nizka (0,13). Na splošno se rezultati z metodo po

Dempster-Shaferjevem algoritmu slabo povezujejo z vsemi ostalimi. Izmed vseh se najbolj povezuje ta rezultata logaritemske metode indeksiranja ter metode ponderiranja. Vsak zemljevid je imel 21.098 celic, korelacije med vsemi zemljevidi pa so statistično značilne pri stopnji manjši od 0,001.

*Preglednica 3: Spearmanov koeficient povezanosti (preglednica je simetrična).*

	metoda ponderiranja	Dempster-Shaferjev algoritem	metoda odločitvenega drevesa	logaritemska metoda indeksiranja
metoda ponderiranja	1,000	0,317	0,412	0,672
Dempster-Shaferjev algoritem	0,317	1,000	0,130	0,411
metoda odločitvenega drevesa	0,412	0,130	1,000	0,503
logaritemska metoda indeksiranja	0,672	0,411	0,503	1,000

## 4 Sklep

Ugotavljanje plazovitosti s pomočjo odločitvenih dreves je v zadnjih letih vedno bolj pogosto. K temu je pripomoglo dejstvo, da metoda omogoča uporabo številskih in opisnih podatkov hkrati, dopušča različno stopnjo posplošenosti ter dokaj širok izbor različnih nastavitvev. To hkrati pomeni, da je treba za boljše rezultate metodo večkrat ponoviti.

V našem prispevku smo metodo uporabili na primeru katastrske občine Medana. Uporabili smo standardne postopke njene uporabe za ugotavljanje plazovitosti, kot so znani iz literature. S tem smo želeli dobiti vpogled v uporabnost metode za preučevanje plazovitosti ter hkrati ugotoviti njeno primerljivost z drugimi metodami. Uspeli smo sestaviti model z vključitvijo vseh relevantnih spremenljivk (torej tistih, za katere smo v postopku ocenili, da prispevajo dovolj kakovostnih informacij za odločanje), določili zakonitosti oziroma pravila delovanja modela in na koncu ta pravila vpeljali v GIS in izdelali zemljevid plazovitosti.

Metoda zaradi svoje preglednosti omogoča jasno opredelitev modela. Tudi pri modeliranju z odločitvenimi drevesi pa je natančnost rezultata odvisna od natančnosti uporabljenih podatkovnih slojev. Ima pa model to posebnost, da je njegova natančnost povezana tudi z večkratnim (ponovnim) preizkušanjem različnih nastavitvev.

Sicer pa namen članka ni bil predstaviti najboljših rezultatov, pač pa v slovenskem prostoru predstaviti razmeroma novo metodo – model odločitvenih dreves – katere uporabnost se močno poveča, če jo vključimo v geografske informacijske sisteme. Izpostavili pa bi dejstvo, da smo z metodo prišli do podobnih rezultatov kot pri uporabi nekaterih drugih metod. Našeta spoznanja dajejo možnost za aplikacijo tovrstnih modelov tudi pri preučevanju drugih geografskih pojavov.

## 5 Viri in literatura

- Atanasova, N., Bratko, I., Debeljak, M., Džeroski, S., Kobler, A., Kompare, B., Todorovski, L., Ženko, B. 2009: Analysis of environmental data with machine learning methods. Učno gradivo, Inštitut Jožef Stefan. Ljubljana.
- Atanasova, N., Kompare, B. 2002: Uporaba odločitvenih dreves pri modeliranju čistilne naprave za odpadno vodo. *Acta hydrotechnica* 20–33. Ljubljana.
- Chu, C.-M., Tsai, B.-W., Chang, K.-T. 2009: Integrating decision tree and spatial cluster analysis for landslide susceptibility zonation. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 59. Paris.
- Džeroski, S. 2002: Environmental sciences. Handbook of data mining and knowledge discovery. Oxford.
- Hall, M., Frank, E., Holmes, G., Pfahringer, B., Reutemann, P., Witten, I. H. 2009: The WEKA data mining software: an update. *SIGKDD Explorations* 11-1. Washington.
- Kobler, A., Adamič, M. 1999: Brown bears in Slovenia: identifying locations for construction of wildlife bridges across highways. *Proceedings of the Third International Conference on Wildlife Ecology and Transportation*. Tallahassee.
- Kobler, A., Hočevar, M., Džeroski, S. 2000: Forest border identification by rule-based classification of landsat TM and GIS data. *International Cooperation and Technology Transfer*. Ljubljana.
- Komac, B., Zorn, M. 2005: Geomorfološke nesreče in trajnostni razvoj. *IB revija* 39-4. Ljubljana.
- Komac, B., Zorn, M. 2007: Modeliranje naravnih procesov na primeru zemeljskih plazov. *Dela* 28. Ljubljana.
- Komac, B., Zorn, M. 2008: Pobočni procesi in človek. *Geografija Slovenije* 15. Ljubljana.
- Komac, M. 2004: Napoved ogroženosti prebivalstva zaradi plazov na območju osrednje Slovenije. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2003–2004*. Ljubljana.
- Komac, M. 2006: Potencialno plazovita območja v Sloveniji in izpostavljenost človekovega okolja. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2005–2006*. Ljubljana.
- Komac, M., Fajfar, D., Ravnik, D., Ribičič, M. 2008: Nacionalna podatkovna baza zemeljskih plazov. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008*. Ljubljana.
- Komac, M., Jemec, M. 2010: Ocena premikov počasnega plazanja z interferometrično metodo permanentnih sipalcev in GIS. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2009–2010*. Ljubljana.
- Kononenko, I. 2005: *Strojno učenje*. Ljubljana.
- Kutnar, L., Kobler, A., Bergant, K. 2009: Vpliv podnebnih sprememb na pričakovano prostorsko pre-razporeditev tipov gozdne vegetacije. *Zbornik gozdarstva in lesarstva* 89. Ljubljana.
- Lindsay, J. B. 2005: The terrain analysis system: a tool for hydro-geomorphic applications. *Hydrological Processes* 19-5. Chichester.
- Mitchell, T. M. 1997: Lecture slides for textbook *Machine learning*. Medmrežje: <http://www.cs.cmu.edu/afs/cs.cmu.edu/project/theo-20/www/mlbook/ch3.pdf> (3. 5. 2010).
- Močnik, N. 2007: Modeliranje habitata klopa *Ixodes ricinus*, glavnega prenašalca lymške borelioze na področju Zgornjega Posočja. *Diplomsko delo*. Fakulteta za znanosti o okolju. Nova Gorica.
- Nefeslioglu, H. A., Sezer, E., Gokceoglu, C., Bozkir, A. S., Duman T. Y. 2010: Assessment of landslide susceptibility by decision trees in the metropolitan area of Istanbul, Turkey. *Mathematical Problems in Engineering*. Cairo.
- Quinlan, J. R. 1986: *Induction of decision trees*. *Machine Learning* 1. Boston.
- Ribičič, M., Šinigoj, J. 1996: Karte ogroženosti in tveganja zaradi plazov na območju Slovenije. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1995–1996*. Ljubljana.
- Saito, H., Nakayama, D., Matsuyama, H. 2009: Comparison of landslide susceptibility based on a decision-tree model and actual landslide occurrence: The Akaishi Mountains, Japan. *Geomorphology* 109, 3-4, Amsterdam.
- WEKA. Medmrežje: <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/> (3. 3. 2010).
- Witten, I. H., Eibe, F. 2005: *Data mining. Practical machine learning tools and techniques*. Amsterdam.
- Zorn, M., Komac, B. 2006: Geomorfologija in prostorsko planiranje. *Urbani izziv* 17, 1–2. Ljubljana.



- Zorn, M., Komac, B. 2007: Probability modelling of landslide hazard. *Acta geographica Slovenica* 47-2. Ljubljana.
- Zorn, M., Komac, B. 2008a: Zemeljski plazovi v Sloveniji. *Georitem* 8. Ljubljana.
- Zorn, M., Komac, B. 2008b: Modeliranje plazovitosti s pomočjo Dempster-Shaferjevega algoritma. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008*. Ljubljana.
- Zorn, M., Komac, B. 2009: The importance of landsliding in a flysch geomorphic system: the example of the Goriška brda Hills (W Slovenia). *Zeitschrift für Geomorphology N. F., Suppl.* 53-2. Berlin.

# OCENA PREMIKOV POČASNEGA PLAZENJA Z INTERFEROMETRIČNO METODO PERMANENTNIH SIPALCEV IN GIS

**dr. Marko Komac, Mateja Jemec**

Geološki zavod Slovenije

marko.komac@geo-zs.si, mateja.jemec@geo-zs.si

UDK: 551.435.62(497.4)

## IZVLEČEK

### **Ocena premikov počasnega plazenja z interferometrično metodo permanentnih sipalcev in GIS**

Na območju vzhodno od Cerknega smo izvedli analizo uporabnosti interferometrične metode permanentnih sipalcev (PSInSAR) za opazovanje premikov na plazovitih območjih. Na podlagi lastnosti reliefa, vektorjev premikov permanentnih sipalcev in predvidenih smeri gibanj splazelih gnot smo kvantitativno ocenili dejanske premike na zemeljskih plazovih in jih primerjali. Primerjava korelacij med časovnimi nizi premikov permanentnih sipalcev kaže na možno prostorsko povezanost.

## KLJUČNE BESEDE

permanentni sipalci, interferometrija, PSInSAR, zemeljski plazovi, Cerkno, osrednja Slovenija

## ABSTRACT

### **Estimation of displacements in case of creeping using Permanent Scattering Interferometry and GIS**

On a small area an analysis of usefulness of permanent scatterer technique (PSInSAR) for landslide monitoring was performed. Based on the terrain properties, displacement vectors of permanent scatterers and anticipated movement directions of sliding masses actual displacements as a consequence of these slope mass movements were quantified and compared. We compared the correlations of temporal displacement series of permanent scatterers and concluded that they could be spatially related.

## KEY WORDS

permanent scatterers, interferometry, PSInSAR, landslides, Cerkno, central Slovenia

## 1 Uvod

Pogostost pobočnih premikov v Sloveniji, med katerimi so številni zemeljski plazovi, postavlja pred strokovnjake vedno nove zahteve, povezane z naprednimi metodami daljinskega zaznavanja, GIS-ov in informacijske tehnologije. Njihovo razumevanje je povezano s spremljanjem dinamike premikov v prostoru in času. Problemi, ki lahko nastopijo pri daljšem opazovanju, so: uspešnost zveznega opazovanje in izvajanje meritev na večjem območju, zamudne in mnogokrat preredke ponovitve meritev ter nezmožnost izvajanja meritev za preteklost.

Metoda SAR interferometrije omogoča opazovanje premikov na večjih območjih (Fruneau s sodelavci 1996; Berardino s sodelavci 2002). Pojavljajo pa se problemi, povezani s koherenco, prikritimi viri napak (predvsem atmosferskih vplivov) v radarskem signalu ter časovno in prostorsko ločljivost-javne metode. Omenjene ovire je mogoče zaobiti z uporabo interferometrične metode permanentnih sipalcev (PS, angleško *permanent scatterers*) (Oštir 2000; Colesanti s sodelavci 2003; Colesanti in Wasowski 2006; Oštir in Komac 2007; 2008). PS-ji so naravni (izdanki kamnin) ali umetni objekti (stavbe, daljnovo-di, kovinske strukture z oglatimi robovi in umetni odbojniki). Združitev satelitskih (PSInSAR) in in-situ (pojavi zemeljskih plazov) podatkov v GIS-ih omogoča njihovo celovito in boljše analizo, olajša interpretacijo ter omogoči hiter in pregleden prikaz rezultatov. Cilj analiz, predstavljenih v prispevku, je bil oceniti dejanske premike PS-jev v prostoru in času zaradi plazenja ter oceniti možnosti določanja obsega počasnih zemeljskih plazov s pomočjo metode PSInSAR.

## 2 Interferometrična metoda permanentnih sipalcev (PSInSAR)

Radarsko opazovanje Zemljinega površja je v zadnjem desetletju doživelo izjemen razvoj. Številni delujoči sateliti (ERS-1, ERS-2, RADARSAT, ENVISAT, JERS, TerraSAR-X, ALOS, Cosmo Sky Med) in načrtovani sateliti (Sentinel, sistem več TerraSAR-X satelitov, SAOCAM), s katerimi pridobivajo oziroma bodo pridobivali radarske podatke, omogočajo redno opazovanje skoraj vsakega kotička našega planeta. Prednost SAR opazovanja je neodvisnost sistema od časovnih (noč/dan) in do neke mere tudi vremenskih razmer (oblaki) ter relativno natančne meritve v vertikalni smeri (od nekaj metrov do manj kot milimetra).

Interferometrija je metoda primerjave faz dveh ali več radarskih podob, pridobljenih v različnih obdobjih in iz različnih kotov snemanja. S pomočjo razlike v fazah je možno določiti spremembe med referenčnim elipsoidom in opazovano spremembo površja (Oštir 2006). Teoretično dosega metoda milimetrsko natančnost v smeri potovanja signala (*line-of-sight*, LOS), z opazovanjem stabilnih odbojnikov skozi daljše časovno obdobje pa lahko doseže natančnost tudi do 0,1 mm na leto v smeri LOS (Ferretti s sodelavci 2001; Colesanti s sodelavci 2003; Ferretti s sodelavci 2005). Slednje je možno doseči šele po odstranitvi napak v signalu, h katerim največ prispevajo atmosferski vplivi v času snemanja. Atmosferski vplivi (*atmospheric phase screen*) kažejo tendenco k močni prostorski korelaciji, medtem ko stabilni odbojniki predstavljajo trajne vire odboja signala, zaradi česar kažejo tendenco k močni časovni korelaciji. Ta razlika omogoča izločitev časovno nekoreliranih vplivov, torej atmosferskih napak v signalu, in uporabo trajnih odbojnikov signala, ki jih imenujemo PS-ji (Ferretti s sodelavci 2001). Kakovost PS-jev je ocenjena s koherenco (*coherence*,  $\gamma$ ), ki je izražena v obliki normaliziranega indeksa razmerja (koefficienta) med lokalno jakostjo signala in šuma (Colesanti in Wasowski 2006; Oštir 2006). Vsi premiki PS-jev so relativni in so merjeni glede na referenčno točko na podobi, za katero se domneva, da je relativno stabilna glede na širšo okolico. Omejitve meritev s PSInSAR metodo so poleg (1) poraščenih območij, še (2) premiki v smeri S–J, saj teh premikov senzorji zaradi smeri snemanja ne zaznajo, (3) premiki med dvema snemanjema (običajno je to obdobje 35 dni), ki so večji od 28,6 mm ( $\lambda = 56,6$  mm), (4) omejena ločljivost podob (okoli 25 m), (6) razgibanost reliefa, ki povzroča »senčenje« ali popačenje podob in (6) zadostna gostota PS-jev, vsaj 4 na km<sup>2</sup> (Colesanti s sodelavci 2003). Metoda je torej uporabna za zaznavanje počasnejšega plazenja ( $\approx < 0,82$  mm/dan), medtem ko hitrih zdrsov metoda ne zazna.

Občutljivost sistema (niz InSAR podob) na zaznavanje premikov odbojnikov je specifična za vsak izračun PS-ja posebej in je izražena z vektorjem občutljivosti (*sensitivity versor*,  $\bar{u}$ ), ki je vezan na osrednjo točko podobe in je obenem relativno stabilna vrednost, kljub oddaljevanju od osrednje točke podobe. Deformacija (ali hitrost deformacije) v smeri LOS ( $d_{LOS}$  ali  $v_{LOS}$ ) je skalarni produkt vektorja dejanske prostorske spremembe PS-ja (razdalja  $\bar{d}$  ali hitrost  $\bar{v}$ ) in vektorja občutljivosti ( $\bar{u}$ ) (Colesanti s sodelavci 2003) in je izražena z enačbo (Clesanti in Wasowski, 2006):

$$v_{LOS} = \bar{v} \times \bar{u} = \begin{bmatrix} v_{vzhod} \\ v_{sever} \\ v_{zenit} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} u_{vzhod} \\ u_{sever} \\ u_{zenit} \end{bmatrix} \quad (\text{enačba 1})$$

$$d_{LOS} = \bar{d} \times \bar{u} = \begin{bmatrix} d_{vzhod} \\ d_{sever} \\ d_{zenit} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} u_{vzhod} \\ u_{sever} \\ u_{zenit} \end{bmatrix} \quad (\text{enačba 2})$$

Izhajajoč iz enačb 1 ali 2 je možno na podlagi enačbe

$$S = \frac{1}{(\bar{v}^T \times \bar{u})} \quad (\text{enačba 3})$$

izračunati razmerje med dejansko hitrostjo premikov PS-ja ( $\bar{v}$  ali  $\bar{d}$ ) in  $\bar{v}_{LOS}$ . Ker je vrednost  $\bar{v}_{LOS}$  znana, je izračun dejanske hitrosti premikov ali dimenzije premika enostaven.

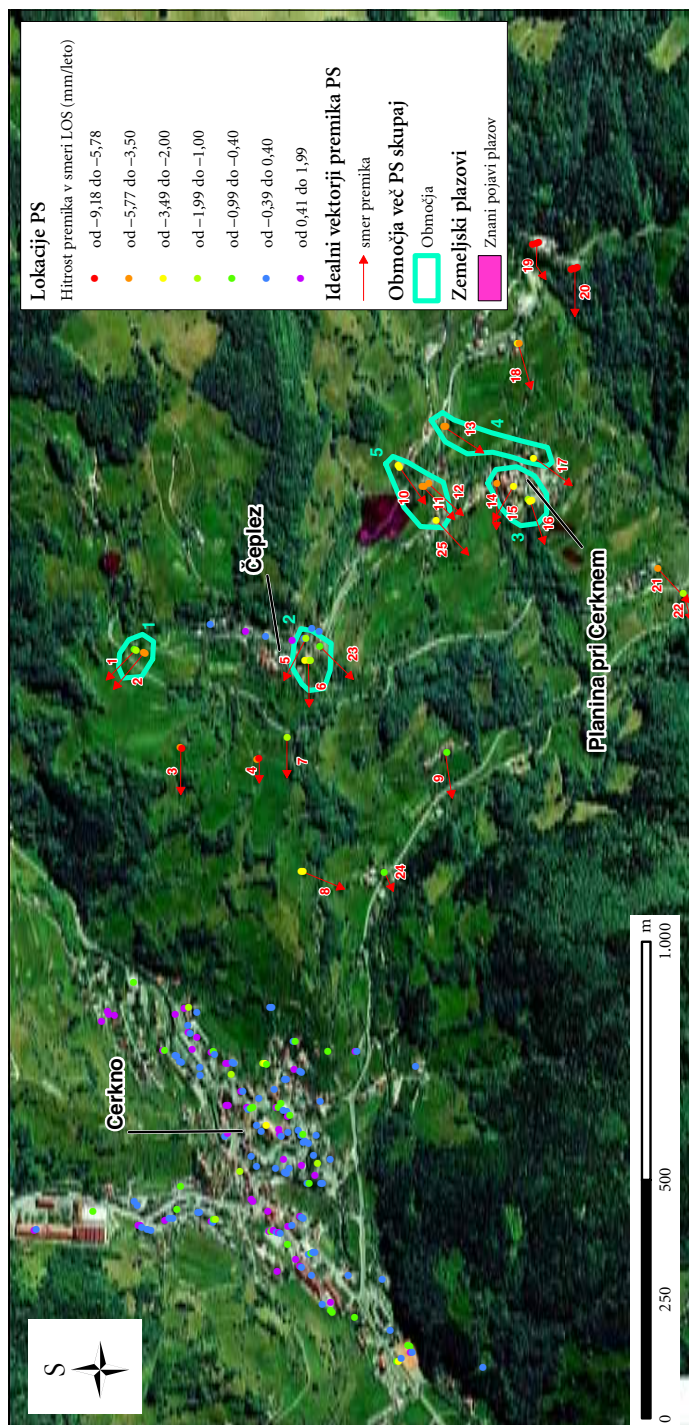
Navkljub predstavljenim omejitvam je interferometrija zelo uporabna pri opazovanju sprememb površja skozi daljše časovno obdobje. Njena uporabnost je bila dokazana na številnih primerih in na različnih področjih kot so hidrologija (Declercq s sodelavci 2005), seizmologija (Carnec in Delacourt 2000), glaciologija (Mohr in Madsen 1997), ekologija (Ludwig s sodelavci 2000), vulkanologija (Salvi s sodelavci 2004), geomorfologija/fizična geologija, npr. posedanje površja (Ferretti s sodelavci 2000) in opazovanje počasnih plazanj (Hilley s sodelavci 2004; Bovenga s sodelavci 2006).

### 3 Območje raziskav in metodologija

Okolica Cerknega, ki je bila izbrana za območje raziskav (slika 1), je zaradi svoje geološke (litostratigrafske in tektonske) zgradbe zelo podvržena pojavom plazanja (Komac in Ribičič 2008). Območje se razprostira med 300 in 970 metrov nadmorske višine, nakloni pobočij pa se gibljejo med 0° in 52°. Poleg Cerknega ležita na območju še vasi Čeplez in Planina pri Cerknem. Geološka zgradba območja je povzeta po Gradu in Ferjančiču (1974). Območje gradijo večinoma glinavci in kremenovi peščenjaki (C, P), karbonatne žažarske plasti (P), grōdenski peščenjaki (P), apnenčevi in dolomitni skladi (P), laporni apnenec z dolomitom in skrilavim peščenjakom, glavni dolomit ter lapor (T) in melišča (Q). V dolinah se v ozkem pasu ob vodotokih pojavljajo rečni nanosi (Q).

Na ožjem območju Čepleza in Planine pri Cerknem se pojavlja več PS-jev, ki kažejo očitne negativne trende premikov, torej premikov stran od satelita oziroma premikov navzdol. Na istem območju je bilo v preteklosti zabeleženih več pojavov zemeljskih plazov in usadov (arhiv Geološkega zavoda Slovenije), ki so prikazani na sliki 1.

Pri dani PSInSAR raziskavi je bila med 67-imi primernimi SAR podobami, pridobljenimi iz spuščajoče se orbite, za glavno podobo (ang. *master image*) izbrana podoba z dne 21. 12. 1997. Kot ustrezni PS-ji so bile izbrane vse tarče, katerih koherenca je bila večja od 0,58. Na celotnem območju PSInSAR meritev, ki je obsegalo 643 km<sup>2</sup>, je bilo določenih 2786 PS-jev in njihova povprečna gostota je bila



Slika 1: Območje raziskav z vrisanimi lokacijami znanih zemeljskih plazov (vijolične površine), permanentnih sipalcev (PS; točke), vektorjev njihovega premika (rdeče puščice) in območja več PS skupaj (turkizno očitana območja) (vir: DOF 5, 1999–2009, Geodetska uprava Republike Slovenije).

*Preglednica 1: Osnovne lastnosti PS-jev, izbranih za podrobnejše analize ter izračunane vrednosti dejanskih premikov PS-jev (STD – standardni odklon povprečne hitrosti deformacije, PHD – povprečna hitrost deformacije (mm na leto), DPHD – dejanska povprečna hitrost deformacije (mm na leto), vektor/območje – oznaka vektorja premika/oznaka območja z večjo gostoto PS-jev).*

oznaka PS-ja	koherenca	PHD (mm/leto)	DPHD (mm/leto)	vektor/območje
A1L19	0,58	-0,98	-2,17	24/-
A1L24	0,62	-6,61	-9,66	19/-
A1L2L	0,68	-5,78	-8,45	19/-
A1L2X	0,69	-6,01	-8,79	19/-
A1L36	0,61	-3,71	-6,686	14/3
A1L3C	0,76	-3,27	-6,32	18/-
A1L3P	0,66	-3,84	-7,42	18/-
A1L40	0,74	-3,29	-6,43	15/3
A1L4P	0,63	-0,73	-1,19	9/-
A1L50	0,84	-2,32	-4,34	16/3
A1L54	0,68	-2,42	-4,53	16/3
A1L5B	0,59	-7,43	-9,38	20/-
A1L5E	0,78	-8,11	-10,23	20/-
A1L5G	0,66	-9,18	-11,59	20/-
A1L5M	0,63	-7,54	-9,52	20/-
A1L5N	0,59	-3,31	-9,62	17/4
A1L5V	0,58	-1,7	-3,12	16/-
A1LM2	0,59	-1,8	-2,99	1/1
A1LM7	0,63	-4,78	-7,81	2/1
A1LM8	0,61	-5,49	-8,98	2/1
A1LMY	0,68	-0,9	-1,49	1/1
A1LOO	0,6	-5,11	-7,32	3/-
A1LOT	0,79	-6,41	-9,18	3/-
A1LR3	0,67	-6,03	-9,61	4/-
A1LRZ	0,62	-5,21	-8,30	4/-
A1LS6	0,6	-2,04	-3,03	6/2
A1LS7	0,68	-1,58	-2,30	7/-
A1LSW	0,61	-1,52	-2,496	5/2
A1LTE	0,58	-3,05	-4,52	6/2
A1LTH	0,67	-1,6	-2,37	6/2
A1LTS	0,62	-0,42	-0,81	23/2
A1LV7	0,59	-2,61	-6,29	8/-
A1LVY	0,7	-2,26	-5,45	8/-
A1LWE	0,72	-2,13	-3,51	10/5
A1LWK	0,78	-2,52	-4,16	10/5
A1LY4	0,84	-4,37	-9,45	13/4
A1LY8	0,77	-5,01	-10,83	13/4
A1LYI	0,72	-4,56	-7,97	11/5
A1LYO	0,83	-4,37	-7,64	11/5
A1LYZ	0,62	-3,98	-7,26	12/5
A1LZ2	0,75	-2,49	-5,92	25/5
A1MAE	0,69	-4,14	-10,51	21/-
A1MAV	0,58	-1,34	-2,28	22/-

4,33 PS/km<sup>2</sup>. Za referenčno točko je bil izbran PS, ki se nahaja v Železnikih (vrednost koordinat v Gauss-Krügerjevem sistemu je 436768, 120490). Vektor občutljivosti za uporabljeni sistem ima vrednost  $\bar{u} = [0,38462, -0,08978, 0,91870]$ . Površina območja raziskav vzhodno od Cerknega je 4,92 km<sup>2</sup>, tam pa se neenakomerno razporejenih pojavlja 207 PS-jev. Hitrosti deformacij na opazovanem območju se razprostirajo od -9,18 (pogrezanje) do 1,99 (dviganje) mm na leto. Zaradi poenostavitve izračunov smo izbrali obliko časovno konstantne deformacije torej deformacije, ki je enotna skozi celotno obdobje opazovanja, ki je trajalo od junija 1992 do decembra 2000. Od 207 PS-jev smo jih za podrobnejše opazovanje izbrali 43 (preglednica 1). Pri njih je ocena dejanskih premikov (razdalja  $\bar{d}$  ali hitrost  $\bar{v}$ ) najbolj smiselna, saj jakosti premikov kažejo na zelo veliko verjetnost drsenja tal (povprečna hitrost premikov je bila večja od 0,4 mm na leto v negativni smeri). Razmerje med navidezno hitrostjo, ki jo zazna satelit, in dejansko hitrostjo premikov pobočnih gmot zaradi plazenja je možno izračunati na podlagi enačbe 3, kjer je vrednost  $\bar{u}$  znana, vrednost  $\bar{v}$  pa je lastna vsakemu plazju in je (idealno) enaka padnici vzdolž pobočja. Idealne ali privzete dejanske smeri premikov za izbranih 43 PS-jih so prikazane s 25-imi vektorji premikov (slika 1), ki sledijo padnici po pobočju v dolžini okoli 60 metrov. Za posamezen vektor premika smo izračunali povprečen kot vpada. Na petih območjih, kjer se skupaj pojavlja več PS-jev (slika 1), smo ugotoviti obseg posamezne plazeče se gmote ter izvedli analizo korelacije med nizi premikov PS-jev. Izhajali smo iz domneve, da morajo biti premiki PS-jev, ki ležijo na istem zemeljskem plazju, sorodni tudi s časovnega vidika.

Pri interpretaciji rezultatov so bili potencialni vektorji regionalnih premikov, ki so posledica tektonske aktivnosti območja zanemarjeni, saj so za magnitudo manjši od hitrosti premikov pobočnih mas.

## 4 Rezultati in interpretacija

Meritve premikov 43-ih PS-jev na območju raziskave kažejo hitrosti sprememb njihove lege v smeri LOS, uvedba vektorjev premikov pa omogoča oceno dejanskih premikov PS-jev v prostoru. Preglednica 2 podaja lastnosti 25-ih vektorjev premikov. Ob predvidevanju, da se plazeča gmota giblje pod vplivom gravitacije in ob predvidevanju, da ležijo PS na plazovih, podobnih tistim v neposredni sosesčini (območja, obarvana z roza barvo na sliki 1, ki so podrobno opisana v poročilih arhiva Geološkega zavoda Slovenije), na podlagi izkušenj privzamemo, da gre pri premikih in posledično tudi PS-jih, ki se nahajajo na plazju, za translacijske premike. To so premiki vzdolž drsne ploskve, ki je vzporedna površju, zato vertikalna komponenta premika ni prevladujoča kot pri rotacijskih zdrskih, temveč je le del vektorja premika v prostoru. Drсна ploskev je običajno stik med bolj in manj prepustnimi kamninskimi plastmi (glinavec, lapor). Ali gre v danih primerih zaznanih premikov za plazenje ali polzenje, ni jasno, saj rezultati analize niso bili preverjeni z globinskimi terenskimi preiskavami.

Na podlagi lastnosti vektorjev premikov je možno oceniti dejanske hitrosti premikov PS-jev oziroma objektov zaradi plazenja tal. Dejanski premiki so od navideznih (tistih, v smeri potovanja signala) v povprečju večji za koeficient 1,85, razpon mnogokratnika premikov pa se giblje od 1,26 pa do 2,91. Ocenjeni dejanski premiki imajo tako razpon od -0,8 pa do -11,6 mm na leto (stolpec DPHD v preglednici 1).

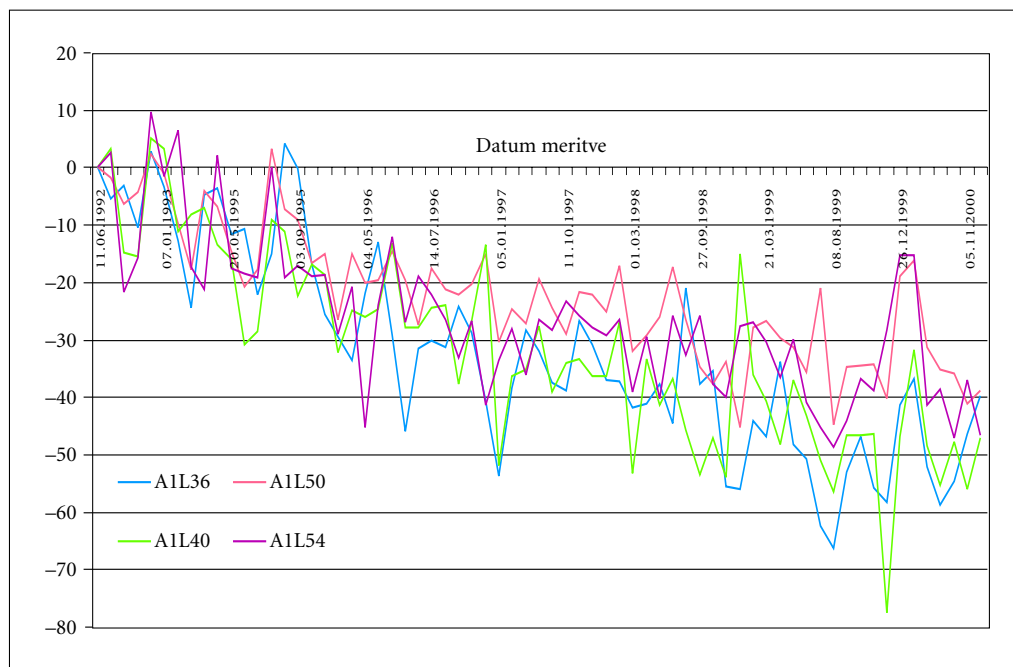
Analiza korelacije premikov PS-jev v daljšem časovnem obdobju (1992–2000), za katere predvidevamo, da ležijo na istih zemeljskih plazovih (5 območjih, očrtanih z turkizno barvo na sliki 1), kaže le na določeno stopnjo ujemanja med premiki PS-jev. Korelacijski koeficienti v posameznih primerih dosežejo zelo visoko vrednost, kar je zaradi bližine opazovanih PS-jev pričakovano. Tako je koeficient korelacije večji od 0,85 pri primerjavi A1LY4 in A1LY8 (0,95), A1LYI in A1LYO (0,92), A1LM7 in A1LM8 (0,91) ter A1LYO in A1LYZ (0,86). Visoke vrednosti korelacijskega koeficienta se pojavljajo tudi pri nekoliko bolj oddaljenih PS-jih znotraj posameznega očrtanega območja. Na območju 3 je vrednost korelacijskega koeficienta med vsemi PS-ji, razen A1L5V, nad 0,74, na območju 4

*Preglednica 2: Lastnosti 25-ih vektorjev premikov, ki določajo smeri dejanskih premikov 43 PS na plazovitem območju (vektor – oznaka vektorja premika, dolžina – dolžina vektorja (m), azimut – usmerjenost vektorja premika od geografskega severa v smeri urinega kazalca (°), ZR – razlika v nadmorski višini skrajnih točk vektorja premika, kot – kot padca vektorja premika vzdolž padnice terena,  $v_{vzhod}$  – komponenta dejanskega premika v smeri proti vzhodu,  $v_{sever}$  – komponenta dejanskega premika v smeri proti severu,  $v_{zenit}$  – komponenta dejanskega premika v smeri navzgor, S – razmerje med navidezno hitrostjo, ki jo zazna satelit in dejansko hitrostjo premikov).*

vektor	dolžina (m)	azimut (°)	ZR (m)	kot (°)	$v_{vzhod}$	$v_{sever}$	$v_{azimut}$	S
1	59,5	314,4	19,0	17,7	-0,680	0,667	-0,304	1,664
2	61,1	309,9	19,2	17,4	-0,731	0,613	-0,300	1,635
3	61,4	270,2	24,5	21,8	-0,929	0,003	-0,371	1,433
4	60,4	270,0	17,7	16,3	-0,960	0,000	-0,281	1,594
5	59,9	297,8	16,4	15,3	-0,853	0,450	-0,264	1,636
6	60,2	269,0	21,9	20,0	-0,940	-0,017	-0,342	1,484
7	60,0	270,0	22,8	20,8	-0,935	0,000	-0,355	1,458
8	60,1	202,6	25,2	22,7	-0,354	-0,852	-0,387	2,410
9	59,7	261,4	17,9	16,7	-0,947	-0,143	-0,287	1,625
10	59,7	234,7	25,9	23,5	-0,749	-0,530	-0,398	1,650
11	59,7	226,3	26,7	24,1	-0,660	-0,631	-0,408	1,748
12	59,5	222,4	26,3	23,9	-0,617	-0,675	-0,404	1,824
13	60,0	213,0	23,7	21,6	-0,507	-0,780	-0,367	2,162
14	59,1	270,5	11,6	11,1	-0,981	0,008	-0,193	1,801
15	59,1	300,1	9,0	8,7	-0,855	0,496	-0,151	1,954
16	59,5	251,7	13,7	13,0	-0,925	-0,306	-0,224	1,871
17	60,1	216,4	12,8	12,0	-0,580	-0,787	-0,208	2,907
18	59,9	253,6	12,0	11,3	-0,941	-0,277	-0,197	1,932
19	58,9	270,9	22,1	20,6	-0,936	0,015	-0,351	1,462
20	58,7	270,0	33,9	30,0	-0,866	0,000	-0,500	1,262
21	60,1	227,2	11,8	11,1	-0,720	-0,667	-0,193	2,538
22	59,2	252,6	17,6	16,5	-0,915	-0,287	-0,285	1,702
23	60,7	224,5	23,3	21,0	-0,655	-0,666	-0,358	1,919
24	58,9	245,9	9,2	8,9	-0,902	-0,403	-0,154	2,209
25	59,4	227,2	13,6	12,9	-0,715	-0,663	-0,223	2,379

so vrednosti med A1LY4 in A1L5N (0,81), med A1LY8 in A1L5N (0,83) ter na območju 5, med A1LWK in A1LYO (0,87), med A1LWK in A1LYI (0,82), med A1LZ2 in A1LYO (0,8) in med A1LZ2 in A1LYI (0,81). Na območjih 1 (razen med skupaj ležečima A1LM7 in A1LM8) in 2 korelacijski koeficienti ne presegajo vrednosti 0,65, kar pomeni srednje pozitivno korelacijo, a obenem kaže na večjo lokalno diferenciacijo med premiki PS-jev. To posledično kaže na različno dinamiko gibanja, v relativno visoki vrednosti korelacijskega koeficienta pa je skrit tudi skupni negativni trend premikov izbranih točk. Na podlagi rezultatov primerjav lahko sklenemo, da so bila območja 3, 4 in 5 izbrana relativno homogeno, kljub razpršenosti PS-jev, kar pa za območja 1 in 2 ni možno trditi. Pri prvih treh območjih gre najverjetneje za tri ločene pojave večjih zemeljskih plazov, pri zadnjih dveh pa za več manjših pojavov plazanj. Na sliki 2 je prikazan primer časovnega prikaza premikov PS-jev na območju 3, razen za PS A1L5V.





Slika 2: Časovni prikaz premikov PS-jev na območju 3, razen za PS A1L5V.

## 5 Sklep

Na podlagi trigonometričnih zakonov in opisne geometrije smo s pomočjo vektorjev premikov, pridobljenih z daljinskim zaznavanjem, izračunali in ocenili dejanske premike PS-jev zaradi plazjenja na območju vzhodno od Cerknega. Analize dejanskih premikov so pokazale, da je možno na podlagi podobnih prostorskih in časovnih lastnosti (variacij in trendov) premikov PS-jev z določenimi zadržki določiti območja, kjer imajo premiki PS-jev tako podobne lastnosti, da je možno sklepati na posamezne pojave plazjenja.

## 6 Viri in literatura

- Borgeaud, M., Wegmüller, U. 1997: On the use of ERS SAR interferometry for the retrieval of geo- and bio-physical information. Proceedings of the 'Fringe 96' workshop on ERS SAR interferometry. Zürich.
- Bovenga, F., Nutricato, R., Refice, A., Wasoeski, J. 2006: Application of multi-temporal differential interferometry to slope instability detection in urban/peri-urban areas. Engineering Geology 88. Amsterdam.
- Carnec, C., Delacourt, C. 2000: Three years of mining subsidence monitored by SAR interferometry, near Gradane. Journal of Applied Geophysics 43. France.
- Colesanti, C., Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F. 2003: Monitoring landslides and tectonic motions with the Permanent Scatterers Technique. Engineering Geology 68. Amsterdam.
- Colesanti, C., Wasowski, J. 2006: Investigating landslides with space-borne Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometry. Engineering Geology 88. Amsterdam.

- Declerq, P.-Y. Devleeschouwer, X., Pouriel, F. 2005: Subsidence revealed by PSInSAR technique in the Ottignies-Wavre area (Belgium) related to water pumping in urban area. 4<sup>th</sup> Fringe Workshop (Expanded Abstracts). Frascati.
- Ferretti, A., Bianchi, M., Prati, C., Rocca, F. 2005: Higher-Order Permanent Scatterers Analysis. EURASIP Journal on Applied Signal Processing 20. New York.
- Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F. 2001: Permanent Scatterers in SAR Interferometry. IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing 39-1. New York.
- Fruneau, B., Achace, C., Delacourt, C. 1996: Observation and modelling of the Saint-Etienne-de-Tinee landslide using SAR interferometry. Tectonophysics 26. Amsterdam.
- Grad, K., Ferjančič, L. 1974: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, list Kranj. Zvezni geološki zavod. Beograd.
- Hilley, G. E., Bürgmann, R., Ferretti, A., Novali, F., Rocca, F. 2004: Dynamic of slow-moving landslides from permanent scatterer analysis. Science 304–5679. New York.
- Komac, M., Ribičič, M. 2008: Zemljevid verjetnosti pojavljanja plazov v Sloveniji 1 : 250.000. Ljubljana.
- Ludwig, R., Hellwich, O., Strunz, G., Roth, A., Eder, K. 2000: Applications of digital elevation models from SAR interferometry for hydrologic modelling. Photogrammetrie, Fernrenkundung, Geoinformation 2. Salzburg.
- Mohr, J. J., Madsen, S. N. 2000: Automatic generation of large scale ERS DEM s and displacement maps. Proceedings of the 'Fringe 96' workshop on ERS SAR interferometry, ESA. Zürich.
- Oštir, K. 2000: Analiza vpliva združevanja radarskih interferogramov na natančnost modelov višin in premikov zemeljskega površja. Doktorsko delo. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana.
- Oštir, K. 2006: Daljinsko zaznavanje. Ljubljana.
- Oštir, K., Komac, M. 2007: PSInSAR and DInSAR methodology comparison and their applicability in the field of surface deformations – A case of NW Slovenia. Geologija 50-1. Ljubljana.
- Oštir, K., Komac, M. 2008: Primerjava uporabe metode PSInSAR in DInSAR za opazovanje premikov površja – primer severozahodne Slovenije. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008. Ljubljana.
- Salvi, S., Atzori, S., Tolomei, C., Allievi, J., Ferretti, A., Rocca, F., Prati, C., Stramondo, S., Feuillet, N. 2004: Inflation rate of the Colli Albani volcanic complex retrieved by the permanent scatterers SAR interferometry technique. Geophysical Research Letters 31-12. Washington.



## UGOTAVLJANJE LAVINSKE NEVARNOSTI S POMOČJO GIS-A

mag. Miha Pavšek, dr. Blaž Komac, dr. Matija Zorn

Geografski inštitut Antona Melika, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti  
miha.pavsek@zrc-sazu.si, blaz.komac@zrc-sazu.si, matija.zorn@zrc-sazu.si

UDK: 911.2:551.578.48(497.4)

### IZVLEČEK

#### **Ugotavljanje lavinske nevarnosti s pomočjo GIS-a**

Snežni plazovi so prostorsko in časovno težko napovedljiva naravna nesreča predvsem zaradi odvisnosti od spremenljivih vremenskih razmer in raznolikosti številnih drugih dejavnikov, ki vplivajo na njihovo proženje. Vendar pa je možno za nekatere vrste snežnih plazov dokaj natančno napovedati območja, kjer se prožijo in gibajo. Težje pa je napovedati njihov celotni obseg, h kateremu prištevamo tudi območje odlaganja snežnih gmot. Pri tem si najpogosteje pomagamo z geografskimi informacijskimi sistemi, ki omogočajo kombiniranje raznovrstnih podatkovnih slojev. V Sloveniji imamo kataster snežnih plazov, ki je sicer nepopoln, a je kljub temu uporabna podlaga za nadaljnje delo. V članku so opisane razmere na področju preučevanja lavinske nevarnosti ter izdelava zemljevida lavinske nevarnosti s posebnim ozirom na občino Jezersko.

### KLJUČNE BESEDE

geografija, naravne nesreče, zemljevidi lavinske nevarnosti, snežni plazovi, Jezersko, Slovenija

### ABSTRACT

#### **Avalanche hazard assessment by the help of GIS**

Prediction of avalanches is spatially and temporally difficult due to their dependence on changeable weather conditions and diversity of other factors that influence their triggering. However, it is possible for certain types of avalanches to fairly accurately predict the triggering and transport areas. However it is difficult to determine their full extent which includes the avalanche deposition area. We can model avalanche hazard by combining multiple data layers in the Geographic information system.

The Slovenian avalanche cadastre is incomplete; however, it is a good basis for further work. This article describes the situation in the field of studying avalanche hazard and elaboration of the avalanche hazard map with special reference to the municipality of Jezersko.

### KEY WORDS

geography, natural hazards, avalanche hazard map, avalanche, Jezersko, Slovenia

## 1 Uvod

Snežni plazovi so kratkotrajni, krajevni in dinamični naravni pojavi premeščanja snežnih gmot iz višjih v nižje lege. Njihovo napovedovanje ni enostavno, posledice ter škoda pa lahko občasno in krajevno zelo velike.

Lavinska kartografija se ukvarja z vzroki in posledicami snežnih plazov najrazličnejših vrst. Najpogostejši končni izdelek je tako imenovani zemljevid lavinske nevarnosti (angleško *avalanche hazard map*; s pridevniško rabo lavinski označujemo povezanost različnih pojmov s snežnimi plazovi), pri izdelavi katerega si med drugim pomagamo z geografskim informacijskim sistemom (GIS) in 3D modeliranjem. V veliko pomoč nam je podroben digitalni model višin (DMV) s čim manjšim velikostnim razredom osnovne celice oziroma čim večjo ločljivostjo.

Uporaba GIS-a je danes nepogrešljiva pri izdelavi različnih scenarijev v okviru lavinskih raziskav, še posebej pri izdelavi zemljevidov lavinske nevarnosti (Kriz 2001). Vizualizacijo preteklih lavinskih dogodkov in lociranje nevarnih območij omogočajo različni pristopi, s katerimi lahko kompleksnost rezultatov prikažemo tudi na kartografsko ustrezen način. Uporaba visoko ločljivih DMV-jev skupaj z GIS-i in kombiniranje rezultatov s 3D prostorskimi prikazi pa nam še dodatno nadgrajuje možnosti za predstavitev dinamičnih sestavin tovrstnih tematskih zemljevidov.

Najpomembnejši razlogi za izdelavo zemljevidov lavinske nevarnosti s pomočjo GIS-a so:

- večja in bolj funkcionalna uporaba GIS-a ter natančnejša analiza površja s pomočjo visoko ločljivega DMV-ja,
- predstavitev lavinske dinamike s pomočjo animacij in modeliranja (simulacij),
- nepogrešljivost tovrstnih zemljevidov pri 3D modeliranju za naprednejše topografske predstavitve in
- vse bolj dodelano kartografsko oblikovanje, načrtovanje in predstavitve s pomočjo multimedijskih tehnologij.



MIHA PAVŠEK

Slika 1: Pri talnih plazovih se plasti snežne odeje sprožijo do kopne podlage, zato so snežni plazovi ponekod tudi pomemben dejavnik preoblikovanja površja.

## 2 Snežni plazovi in GIS

Čeprav smo v Sloveniji še precej na začetku izdelave zemljevidov lavinske nevarnosti, ni odveč seznanitev z možnostmi, ki jih pri tem ponuja GIS. Za lavinske ocene je pomembno, da imamo na voljo visoko kakovosten DMV. Zelo primerna topografska podlaga za pripravo zemljevidov lavinske nevarnosti je tista, kjer je razmerje med DMV-jem (velikost celice) in izohipsami (velikost intervala) 1,5. Veliko je odvisno tudi od kakovosti primarnega zajema topografskih podatkov. Sorazmerno dober kompromis za kartiranje snežnih plazov so zemljevidi v merilu 1 : 25.000 in DMV z osnovno celico velikosti od 10 do 15 metrov.

Glavni razlog za uporabo GIS-a pri ugotavljanju lavinske nevarnosti sta možnost analize in modeliranja različnih scenarijev. Scenariji nam omogočajo napovedovanje lavinsko nevarnih območij (Kriz 2001). Dostopnost v digitalni obliki je temelj za nadaljnje modeliranje in analizo s pomočjo GIS-a. Na eni strani omogoča GIS pri snežnih plazovih klasično funkcionalnost, kot je na primer upodobitev posamezne pojave in njegove podatkovne baze (naklon, ekspozicija, kronologija dogodkov), po drugi strani pa lahko uporabimo GIS za prepletanje podatkov o različnih pojavih z namenom pridobitve zelo kakovostnih rezultatov. Pri tem velja še enkrat poudariti, da imajo največji pomen za modeliranje in analizo med vsemi spremenljivkami poleg meteoroloških prav informacije, povezane z značilnostmi in oblikami pobočij.

### 2.1 Uporaba GIS za ugotavljanje lavinske nevarnosti v Sloveniji

GIS-i so vse pomembnejši tudi pri upravljanju z nevarnostmi zaradi snežnih plazov (lavinska nevarnost) v Sloveniji. Trenutno imamo na voljo le en celovitejši zemljevid lavinske nevarnosti (Pavšek 2002a), izdelan s pomočjo GIS-a, ki pa ima določene pomanjkljivosti; predvsem njegova natančnost je zaradi narave takrat dostopnih vhodnih podatkov precej groba (npr. uporaba DMV 100 krat 100 m). V novejšem času so bile (če izpostavimo geografje) na to temo opravljeni seminarska naloga (Kuhar 2008), diplomsko delo (Volk 2010) ter dva elaborata. Prvega, za občino Jezersko, so pripravili na Geografskem inštitutu Antona Melika Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti (Klabus in drugi 2009). Drugega, za občino Tržič, pa na Oddelku za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani (Natek in drugi 2010).

Pri snežnih plazovih razlikujemo območja, kjer so se plazovi že sprožili, od tistih, kjer lahko na podlagi značilnosti območja pričakujemo, da se bodo sprožili v prihodnosti. Medtem ko so prva predstavljena v katastru snežnih plazov (lavinski kataster), si lahko pri opredelitvi drugih v veliki meri pomagamo prav z GIS-om. Značilno za snežne plazove je, da lahko s terenskim delom opredelimo v glavnem le dejansko lavinsko nevarnost pod gozdno mejo (Pavšek 2000). Na njeni meji, nad njo in na negozdnem ali neporaščenem površju pa je to mnogo težje. Prav na teh območjih si lahko pri prepoznavanju plazovitih območij na različne načine pomagamo z GIS-om. V lavinskem katastru evidentirani plazovi pomenijo potrjeno nevarnost, saj gre v glavnem za znane in pogoste pojave. Drugače pa je pri lavinsko nevarnih območjih, ki jih izluščimo s pomočjo GIS-a, kjer s prepletanjem različnih podatkovnih slojev kategoriziramo lavinsko nevarnost po posameznih stopnjah (majhna, zmerna in velika; slika 2).

Zavedati se moramo, da so z modeliranjem lavinsko nevarnih območij dobljene površine tiste, ki jih v naravi označujemo kot zbirno območje plazu oziroma območje proženja, deloma pa tudi še gibanja. Vsak snežni plaz namreč sestavljajo tri značilna območja: proženja, gibanja in odlaganja, pri čemer meja med posameznimi območji ni vedno ostra oziroma prepoznavna. Precej težje od zbirnega območja je izluščiti površine, kjer se plazovi iztekajo (območja odlaganja). Te so v veliki meri odvisne od prvih, saj so v njihovi vpadnici ali pa na bokih območij proženja posameznih plazov. Določeni programi/modeli omogočajo tudi to, a smo v Sloveniji še v fazi priprave preglednih zemljevidov lavinske nevarnosti na regionalni in občinski ravni, kjer predvsem evidentiramo nevarna območja. Logičen naslednji korak pa je seveda podrobnejše modeliranje na manjših območjih ali za posamezne akutne plazove, ki ogrožajo določene objekte in infrastrukturo.

Preglednica 1: Izbrani kriteriji za določanje lavinske nevarnosti na območju slovenskih Alp.

stopnja nevarnosti (številčno in opisno)	1 – naklon (v stopinjah)	2 – raste po višini (opisno)	3 – ekspozicija (strani neba)	4 – trajanje snežne odeje (število dni na leto)	5 – maksimalna višina snežne odeje (m)	6 – nadmorska višina (m)	7 – tipi podnebja (opisno)
3 velika	31 do 45	raste skalnih razpok, alpskih melišč in prodišč, subalpskih in alpskih travišč, kmetijska zemljišča	J, JV, JZ	nad 150	nad 3,0	nad 1600	podnebje višjega gorskega sveta
2 zmerna	21 do 30, 46 do 60	subalpsko grmišče ruševja	Z, SZ	75 do 150	1,0 do 3,0	1200 do pod 1600	podnebje nižjega gorskega sveta zahodne Slovenije
1 majhna	11 do 20, 61 in več	nizki gozd ali grmišče gabrovca in hrastov, omelike ali malega jesena	V, S, SV	pod 75	pod 1,0	300 do pod 1200	podnebje nižjega gorskega sveta severne Slovenije in drugi podnebni tipi
0 nenevarno	10 in manj	drugo raste	–	–	–	pod 300	–

Upoštevatni moramo, da lahko predstavimo s pomočjo podatkov iz GIS-a v glavnem le ploskovno plazovitost, linearno pa le deloma. Vzrok temu so oblike površja, ki jih pri majhni ločljivosti DMV-ja ni moč ponazoriti, saj so pogosto zelo ozke, široke do največ nekaj metrov. Kljub temu pa so lahko pomemben prevodnik snežnih gnot na njihovi poti z vzpetega sveta proti dolinam. Za izdelavo lavinskih zemljevidov s pomočjo GIS-a je torej najpomembnejša čim bolj natančna topografska podlaga. Tu se kaže velika uporabnost lidarskih posnetkov, vendar je dostopnost tovrstnih podatkov za (visoko)gorske pokrajine še sorazmerno slaba. Nekatere od podatkovnih slojev lahko izluščimo le za posamezen snežni plaz ali v najboljšem primeru za nekaj sosednjih pojavov. Temeljno merilo tematskih zemljevidov za posamezne podatkovne sloje mora biti vsaj 1 : 25.000 za večja plazovita območja in 1 : 10.000 za posamezne plazove. Zaradi precej majhnega števila primerljivih meteoroloških postaj so tudi tovrstni sloji prostorsko precej grobi, saj jih pripravijo s pomočjo interpolacije razpoložljivih podatkov. Pri tem ne upoštevajo za preobrazbo snega pomembna dejavnika – lego pobočij glede na veter (privetna/odvetna) in sonce (prisojna/osojna).

Prvo modeliranje lavinske nevarnosti na območju slovenskih Alp smo izvedli pred več kot desetletjem (Pavšek 2000, 125–158). Površina temeljne celice DMV-ja je bila hektarska, temu primerni oziroma splošni pa so bili tudi rezultati. Modeliranje je pokazalo na povečano pojavnost snežnih plazov v vseh slovenskih visokogorskih pokrajinah. V preglednici 1 so v stolpcih po pomembnosti predstavljeni posamezni dejavniki oziroma sestavine nevarnosti (naklon, rastje po višini, ekspozicija, trajanje in višina snežne odeje, nadmorska višina, podnebni tip) po posameznih stopnjah. Na temelju teh smo določili skupno nevarnost posameznih hektarskih celic. Vsakega od dejavnikov smo glede na stopnjo lavinske nevarnosti razvrstili v tri glavne razrede ter opredelili (številčno ali opisno) meje med njimi. Mejne vrednosti smo določili s pomočjo podatkov iz virov in literature, katastra ter GIS-a. Na prvi stopnji modeliranja nismo uporabili metode ponderiranja vplivnih dejavnikov, kasneje pa smo se odločili za subjektivno ponderiranje naklona, saj je ta med vsemi dejavniki najpomembnejši.

Pri pripravi tematskega zemljevida smo si deloma pomagali z nekaterimi ugotovitvami in metodami, ki sta jih uporabila pri določanju lavinsko nevarnega površja na testnem območju Davosa (Švica) Kienholz in Grunder (1986). Model sta zgradila tako, da je uporaben predvsem v goratem svetu, uporabljen model oziroma z modeliranjem dobljeno lavinsko nevarno površje pa sta primerjala z dejanskim obsegom lavinsko nevarnega površja, ki sta ga ugotovila na podlagi podatkov iz švicarskega lavinskega katastra. V končnem modelu lavinske nevarnosti površja sta upoštevala predvsem snežne razmere, naklonske in rastne značilnosti površja, rabo tal ter domnevni iztek plazu (območje odlaganja). Slednjega sta opredelila kot nižje in v vpadnici območja proženja ležeče celice določene dolžine in naklona. Tudi ta avtorja za izdelavo tovrstnih študij poudarjata pomen natančnosti vhodnih podatkov, predvsem čim bolj natančen DMV.

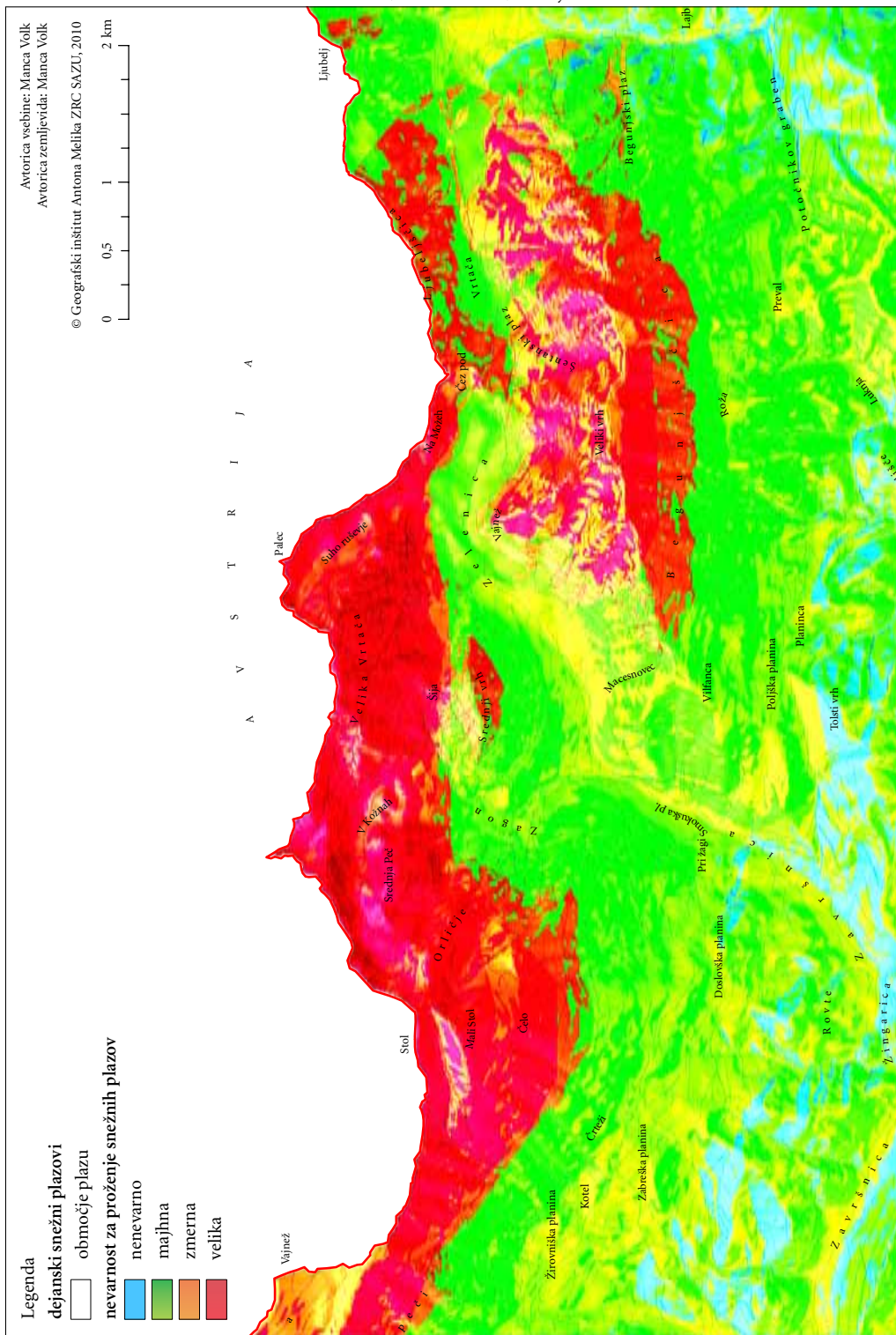
GIS-i omogočajo, da lahko lavinsko nevarnost modeliramo tudi glede na različne scenarije pokrajinskega razvoja: površje brez gozda, varstveno stanje, prvotno stanje in stanje ob nadaljevanju intenzivnega razvoja turizma.

Pavšek (2000; 2002a; 2002b) je z modeliranjem izdelal tri tematske zemljevide lavinske nevarnosti za območje slovenskih Alp in jih poimenoval: osnovni model, ponderirani model in dopolnjeni ponderirani model. Po preverjanju je ugotovil, da je uspešno opredelil predvsem površje z zmerno in veliko lavinsko nevarnostjo.

Oceno nevarnosti za del območja v Kamniško-Savinjskih Alpah je podal Kuhar (2008). Poleg dejanskih snežnih plazov je pri modeliranju (temelj je bil DMV 100 m) privzel, da vplivajo na snežne plazove predvsem naklon in ekspozicija pobočja, rastje, višina snežne odeje in relief. Skupno oceno nevarnosti je podal na podlagi prekrivanja zemljevidov naklonov, ekspozicij in nadmorskih višin. Tudi on je izpostavil območja, kjer se snežni plazovi lahko prožijo in tista, kjer so se snežni plazovi dejansko že sprožili.

*Slika 2: Snežni plazovi v Karavankah – modeliranje nevarnosti (Volk 2010). ► (str. 136)*





POROČILO O PLAZNICI				
Zap. št.: _____ TTN: _____ Interna št. v TTN: _____				
Občina: _____ Šifra: _____ Naselje: _____				
Hidrosistem: _____ Šifra: _____ Km: _____				
Cesta: _____ Šifra: _____ Km: _____				
Ožja lokacija (ime plazu): _____				
Centroid Y: _____ X: _____				
VIDIK	mer. enota	proženje	pogosti obseg	maksimalni obseg
Nadmorska višina	m. n. m.			
Višinska razlika	m			
Povprečni nagib	st.			
Dolžina plaznice	m			
Površina plaznice	ha			
	ozn.	proženje	gibanje	zastajanje
Oblika plaznice	ozn.	01 pobočna 02 jarkasta 03 pahljačasta	01 pobočna 02 jarkasta 03 pahljačasta	01 pobočna 02 jarkasta 03 pahljačasta 04 vršajna
	ozn.	01 goličave 02 travišča 03 grmičevje 04 gozd	01 goličave 02 travišča 03 grmičevje 04 gozd	01 goličave 02 travišča 03 grmičevje 04 gozd
	ozn.	01 neerodibilna 02 erodibilna 03 plazljiva	01 neerodibilna 02 erodibilna 03 plazljiva	01 neerodibilna 02 erodibilna 03 plazljiva
Zarast	ozn.	01 goličave 02 travišča 03 grmičevje 04 gozd	01 goličave 02 travišča 03 grmičevje 04 gozd	01 goličave 02 travišča 03 grmičevje 04 gozd
Stabilnost zemljišč	ozn.	01 neerodibilna 02 erodibilna 03 plazljiva	01 neerodibilna 02 erodibilna 03 plazljiva	01 neerodibilna 02 erodibilna 03 plazljiva
Plodnost zemljišč	ozn.	01 plodna 02 mešana 03 neplodna	01 plodna 02 mešana 03 neplodna	01 plodna 02 mešana 03 neplodna
Areal	ozn.	01 nad gozdno mejo 02 na gozdni meji 03 pod gozdno mejo	01 nad gozdno mejo 02 na gozdni meji 03 pod gozdno mejo	01 nad gozdno mejo 02 na gozdni meji 03 pod gozdno mejo
Stanje plaznice (obseg)	ozn.	01 se krči	02 nespremenjen	03 se veča
Ogroženost prometa	ozn.	01 magistralnih cest 02 regionalnih cest	03 lokalnih cest 04 gozdnih cest	05 žel. prometa
Ogroženost (prevladujoča) Ekspozicija	ozn.	01 kmetijskih zemljišč 02 gozdnih sestojev	03 smucišč 04 daljnovodov	05 stan. objektov 06 gosp. objektov
	ozn.	01 J 02 JZ 03 JV	04 Z 05 SZ 06 V	07 SV 08 S
Pogostost	ozn.	01 pogosti (1–2 leti) 02 občasni (2–10 let)	03 redki (10–25 let) 04 zelo redki (25–50 let)	05 izjemni (nad 100 let)
Opombe				

Slika 3: Poročilo o plaznici – popisni list za evidentiranje snežnih plazov (Bernot in drugi 1994).

Podobno modeliranje kot Pavšek (2000) je z istovrstnimi sestavinami lavinske nevarnosti pripravila Volkova (2010) za osrednji del Karavank (Stol–Vrtača–Begunjščica). Precej bolj natančen zemljevid nevarnosti (DMV 12,5 m) je izdelala s pomočjo metode ponderiranja (Zorn in Komac 2004), pri čemer je določila ponderje s pomočjo naravnega logaritma (Zorn in Komac 2008). Dobljene uteži je morala na podlagi ekspertne ocene nekoliko prilagoditi.

## 2.2 Kataster snežnih plazov (lavinski kataster) za Slovenijo

Bistveno za preprečevanje naravnih nesreč oziroma škode ter za smotrno prostorsko načrtovanje je dobro poznavanje krajev, kjer se prožijo snežni plazovi (Šegula 1986). Vseh mest, kjer se prožijo snežni plazovi, ne moremo prepoznati, ker so plazovi posledica številnih dejavnikov. Zato je tudi pri snežnih plazov nujen njihov popis oziroma prostorska evidenca – kataster snežnih plazov ali lavinski kataster (primerjaj s katastrom zemeljskih plazov; Komac in drugi 2008).

Tako kot druge vrste katastrov, je tudi lavinski kataster za Slovenijo (1994, naročnika MOP in MO/URSZR, izvajalec podjetje PUH, d. d.) sestavljen iz kartografskega in (o)pisnega dela. V prvem sta za posamezen plaz predstavljena obsega pogostega in največjega snežnega plazu (slika 5). V opisu pa je vsak plaz obdelan prek vnosnega obrazca – poročila o plaznici (slika 3). V poročilu o plaznici so predstavljene značilnosti posameznih plaznic (podlaga snežnega plazu) ter njihova dejanska in/ali morebitna nevarnost in škoda (Pavšek 2000).

Plazovi v lavinskem katastru nam kažejo dejansko nevarno območje. Pri zasnovi lavinskega katastra za Slovenijo je kazalo, da bo sprva v njem nekaj sto plazov, na koncu študije pa se je številka ustavila pri več kot 1250 vnosih, pri čemer je bil zajet le del slovenskega alpskega sveta. Ker so pri zajemu podatkov za kataster snežnih plazov v Sloveniji (Bernot in drugi 1994) upoštevali le najbolj problematične plazove, je ostalo neobdelano sorazmerno veliko območje.

Lavinski kataster za Slovenijo je v nekaterih prvinah povsem primerljiv z istovrstnimi tujimi študijami, problem je predvsem v njegovi kontinuiteti oziroma obnovi, dopolnitvi in razširitvi območja obdelave. Prav zato je to eden od redkih podatkovnih slojev, ki ga (še vedno) ne najdemo na obeh pomembnejši portalih s prostorskimi podatki – spletnem Atlasu Varstva okolja (medmrežje 1) in Geopedii (medmrežje 2), kjer sicer že lahko najdemo nekaj vsebin, povezanih z naravnimi nesrečami (npr. območja redkejših/pogostejših poplav).

## 2.3 Katastri snežnih plazov v nekaterih drugih državah

V drugih alpskih državah z dobro razvitim varstvom pred snežnimi plazovi imajo lavinski katastri že dolgo, tudi sto- in večletno tradicijo. V Sloveniji pa smo pristopili k izdelavi šele v začetku 90-ih let 20. stoletja (Bernot in drugi 1994).

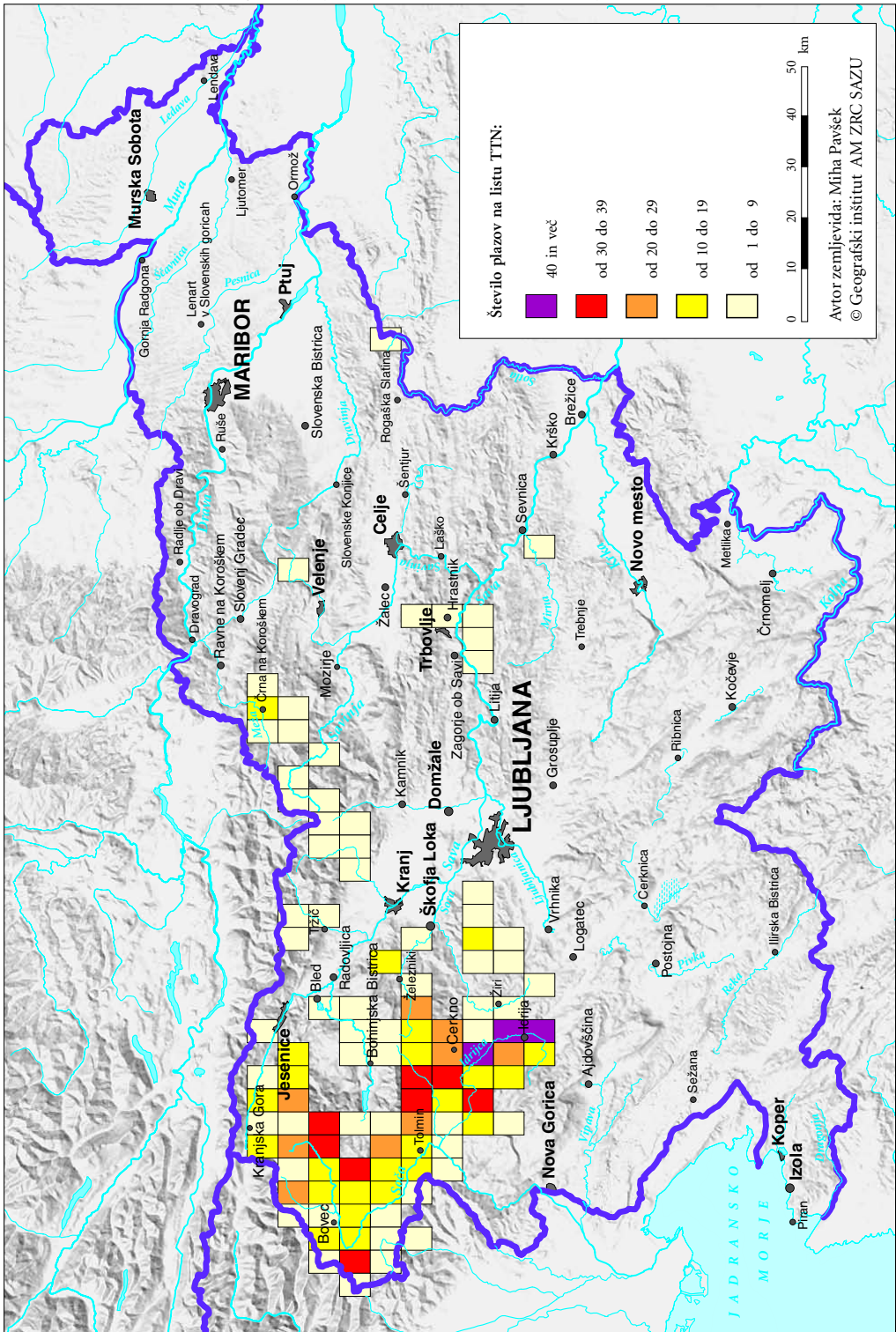
V začetku petdesetih let 20. stoletja so pripravili lavinski kataster na Tirolskem v Avstriji, v njem pa so zajeli 2300 plazov (Rabofsky in drugi 1985). Glede na pogostost proženja so bili vrisani v rdeči (pogosti), modri (redki) in rumeni (zelo redki) barvi. Leta 1975 so v Avstriji uredili zasnovno lavinskega katastra z Zakonom o urejanju prostora v zveznih deželah in z Zakonom o gozdovih. Že leta 1969 pa so pričeli urejati problematiko naravnih nesreč s tako imenovanimi načrti nevarnih območij (nemško *Gefahrenzoneplan*), za katere so bili podatki iz lavinskega katastra zelo dragoceni.

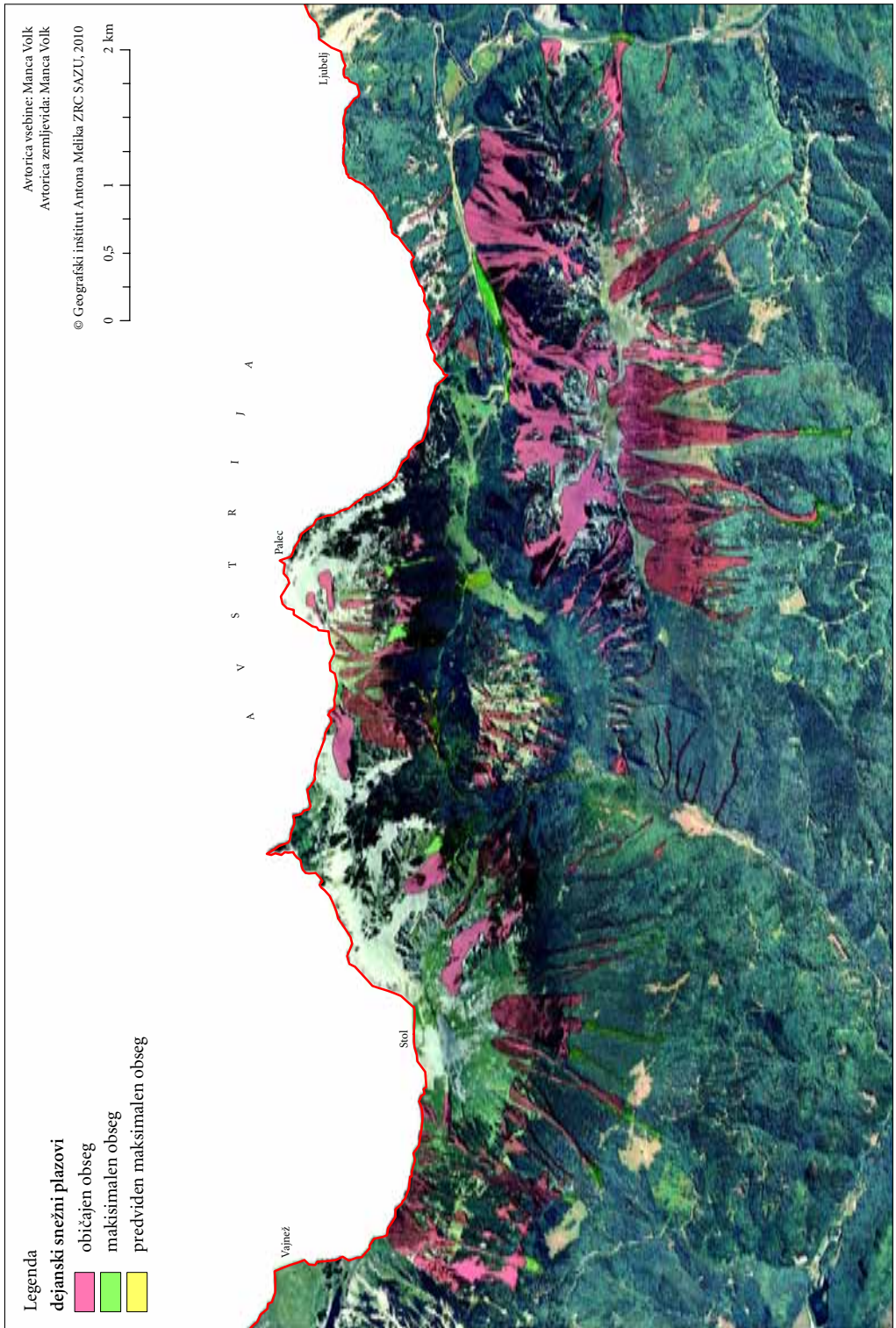
Od leta 1986 imajo lavinski kataster v Španiji, in sicer za območje Katalonskih in Aragonskih Pirenejev (Vilaplana 1992), sočasno pa so izdelali tudi atlas lavinske nevarnosti. Topografska podlaga so zemljevidi v merilu 1 : 25.000, pri zajemanju podatkov pa so sledili francoskemu modelu. V Franciji ima polovica občin, ki jih ogrožajo snežni plazovi, svoje lavinske katastre (De Crécy 1980), coniranje plazov pa je določeno z zakonom. Med letoma 1970 in 1976 so kartografsko obdelali okrog 6000 km<sup>2</sup> površja na območju francoskega dela Alp in Pirenejev. Tudi podatki o snežnih plazovih za gorska območja Slovaške so zbrani v posebnem lavinskem atlasu (Kňazovický 1984).

*Slika 4: Lavinski kataster za Slovenijo – obdelano območje in število plazov po listih ODK 1 : 10.000 (Pavšek 2002a, 100). ►*

*Slika 5: Po manj kot dvajsetih letih bi bila nujna prenova in dopolnitev lavinskega katastra. Na sliki je predstavljen eden od možnih prikazov v prenovljenem katastru – primer območja Stola v Karavankah, ki v obstoječem katastru ni zajeto (Volk 2010). ► (str. 140)*

# Ugotavljanje lavinske nevarnosti s pomočjo GIS-a





Nekateri tuji katastri opredeljujejo plazovita območja po stopnjah nevarnosti (nenevarno, majhna, srednja/zmerna in velika nevarnost). Stopnjo nevarnosti določajo (Švica) glede pogostosti proženja posameznega plazu (povratna doba) in z njihovo intenziteto (pričakovano velikostjo plazu), pri čemer najpogosteje razlikujejo rdečo, modro in rumeno cono (Ammann, Buser in Vollenwyder 1997). V prvi so najnevarnejši plazovi s povratno dobo manjšo od 30 let, zato je prepovedana kakršnakoli gradnja. V drugi so plazovi manj pogosti in siloviti, zato je treba pri gradnji upoštevati določene gradbeno-tehnične predpise. Rumena cona pa označuje delno nevarno območje.

### 3 Lavinska nevarnost in prostorsko načrtovanje

Pri prostorskem načrtovanju v nekaterih državah uporabljajo zemljevide plazovitih območij, ki so hkrati tudi načrti oziroma temeljni dokumenti prostorskega načrtovanja (prim. Komac in Zorn 2005; Zorn in Komac 2006; Komac, Pavšek in Zorn 2007; Zorn, Komac in Natek 2009; Zorn, Komac in Pavšek 2010). V takih primerih pripravijo načrtovalci razmejitve nekaterih območij in omejitve na njih glede gradnje objektov, poselitve ali kakršnekoli druge rabe prostora. Gre za tako imenovano coniranje plazov (angleško *avalanche zoning*; nemško *Lawinengefahrenkarten*), ki obsega tri stopnje: prepoznavanje plaznic, njihovo omejitev, predvsem na območju odlaganja plazu v cone z različno stopnjo nevarnosti, in določitev omejitvenih ukrepov in predpisov na vsakem od območij nevarnosti (McClung in Schaerer 1993, 203).

V povzetku teh načrtov je kakovostna analiza reliefa, podnebja in preteklih lavinskih dogodkov na nevarnem območju (Perla in Martinelli 1975, 171). Zaradi velike spremenljivosti plazov niso ti načrti nikdar dokončni, saj je potrebno njihovo stalno dopolnjevanje in posodabljanje. S coniranjem plazov so začeli leta 1961 v Švici, metodo pa so kasneje povzeli tudi v Franciji, Avstriji, Italiji in ZDA. Pri gradbenih posegih je najpogostejše razlikovanje oziroma uporaba sistema »štirih con«, ki je podprt z barvno lestvico. Pri tem ločijo štiri cone oziroma območja (McClung in Schaerer 1993), na katerih je:

- 1. velika nevarnost (rdeča cona): ni možnosti za gradnjo kakršnihkoli objektov,
- 2. zmerna nevarnost (modra cona): možna gradnja objektov ob upoštevanju posebnih zahtev,
- 3. majhna nevarnost (rumena cona): priporočljivi so objekti za varstvo in zaščito pred snežnimi plazovi,
- 4. brez nevarnosti (bela cona): ni omejitev, čeprav plazovi niso povsem izključeni.

Najpogostejši kriterij za vsakega od območij je ocena pogostosti proženja plazu (povratna doba) in njegova sila. Tovrstni načrti so smiselni predvsem za že pozidana in stalno naseljena območja ter za območja predvidena za gradnjo stavb in komunikacij (Šegula 1986). V nekaterih državah so sestavni del prostorskih dokumentov lokalnih skupnosti in predpogoj za pridobivanje državne pomoči ter izvajanje lavinske preventive. Pregledni načrti so predstavljeni na splošnih topografskih zemljevidih, posamezni primeri pa na podrobnejših topografskih načrtih v merilu 1 : 5000 ali večjih (Perla in Martinelli 1975). Problematične so predvsem omejitve na delno nevarnem območju, kjer so ukrepi pogosto posledica ekonomskih izračunov še sprejemljive nevarnosti pri gradnji določenega objekta. Ponekod (Kanada, Norveška) je pomemben inštrument prostorskega načrtovanja tudi razmejitvena črta območij lavinske nevarnosti (in tudi za druge naravne nesreče) s povratno okrog 300 let, znotraj katere je treba preučiti vsak primer posebej (McClung in Schaerer 1993).

V Sloveniji so za urejanje prostora in s tem v povezavi tudi za varnost prebivalcev odgovorne občine. Zakonodaja (Zakon ... 2007) predpisuje izdelavo Občinskih prostorskih načrtov (OPN), ki morajo med drugim vsebovati tudi zemljevide nevarnosti zaradi naravnih procesov. To je pomembno predvsem za usmerjanje poselitve in gradnjo ter vzdrževanje infrastrukture. Poleg območij, kjer se lahko sprožijo zemeljski plazovi ter erozijskih in poplavnih območij, morajo prostorski načrti v hribovitih in goratih občinah ponazoriti tudi območja lavinske nevarnosti. Tako opozarjanje in obveščanje o nevarnosti proženja snežnih plazov kot tudi ažurni prostorski podatki o snežnih plazovih spadajo med temeljno delo in naloge državne lavinske službe. Slovenija je edina alpska država, ki tovrstne službe še nima.



MIHA PAVŠEK

Slika 6: Kočo na Doliču v Julijskih Alpah je spomladi leta 2009 podrl pršni snežni plaz izjemnih razsežnosti.

## 4 Lavinska nevarnost v občini Jezerško

Zemljevid »Plazovita območja na teritoriju občine Jezerško – snežni plazovi« (Klabus in drugi 2009; slika 7) smo izdelali za OPN za občino Jezerško. Sestavljata ga dva sloja in sicer 'Dejanski snežni plazovi' in 'Nevarnost za proženje snežnih plazov'. Prvi sloj je dejansko lavinski kataster za občino Jezerško, medtem, ko predstavlja drugi verjetnost za proženje snežnih plazov, razvrščeno v pet kategorij (razredov). Pri poimenovanju slednjih izhajamo iz evropske petstopenjske lestvice nevarnosti proženja snežnih plazov, ki jo uporablja tudi večina lavinskih služb na območju Alp in širše.

Sloj 'Nevarnost za proženje snežnih plazov' nam kaže nevarnost zaradi snežnih plazov na območju občine Jezerško. Z nevarnostjo označujemo možnost, da na določenem območju pride do pojava snežnih plazov. Na ta sloj je položen sloj z znanimi snežnimi plazovi na obravnavanem območju ('Dejanski snežni plazovi'). V lavinskem katastru so bili na območju občine Jezerško registrirani le trije vzdolž regionalne ceste (od teh smo vplivno območje enega nekoliko povečali), dodali pa smo jih še 53. Pri kartiranju smo si pomagali tudi s fotointerpretacijo digitalnih ortofoto načrtov (DOF), ki so bili posneti (ciklično aerosnemanje) poleti leta 2006, neposredno po nadpovprečni snežni sezoni. Zato je bilo na njih moč razbrati tudi številne snežne plazove, ki so se po daljšem premoru zopet sprožili. Vsekakor to niso vsi snežni plazovi, ki se lahko pojavijo na območju občine, zato je bilo treba izdelati še zemljevid 'Nevarnost za proženje snežnih plazov'.

Zaradi velike raznolikosti (plazovi suhega nesprijetega snega, plazovi vlažnega nesprijetega snega, plazovi sprijetega snega ali klože) in dinamičnosti (različna hitrost gibanja, odvisna od vrste snega in drsne ploskve oziroma podlage) snežnih plazov so na sloju 'Nevarnosti za proženje snežnih plazov' predstavljeni le zgornji deli plazov oziroma njihova območja proženja, pri nekaterih pa deloma tudi še območja

gibanja, ne pa tudi območja odlaganja plazovine. Vsa tri območja oziroma celotno vplivno območje posameznega snežnega plazu je predstavljeno v sloju 'Dejanski snežni plazovi'.

Pri snežnih plazovih je poleg krajevnega zelo pomemben tudi časovni vidik, saj so močno odvisni od vsakokratnih vremenskih in snežnih razmer.

Modeliranje, ki smo ga uporabili, je uporabno za ugotavljanje nevarnosti od državne do občinske ravni, za ugotavljanje dinamike snežnih plazov za ožja, posebej močno ogrožena krajevna območja (na primer za posamezno dolino, cestni odsek, večjo gozdno parcelo ipd.) pa je treba narediti natančnejše modeliranje celotnih plaznic. Zemljevid je zato uporaben predvsem kot splošni pripomoček pri urejanju prostora, za vsakokratno nevarnost zaradi snežnih plazov pa priporočamo sočasno uporabo lavinskega biltena (v Republiki Sloveniji ga izdajajo na Uradu za meteorologijo Agencije Republike Slovenije za okolje). Bilten zaenkrat pripravljajo le v pisni obliki. V pripravi pa je predlog za njegovo kartografsko predstavitev (Petrovič 2010), kar bi nedvomno dvignilo učinkovitost obveščanja o snežnih in lavinskih razmerah.

#### 4.1 Modeliranje lavinske nevarnosti

Metode izdelave zemljevidov nevarnosti delimo na neposredne (kvalitativne oziroma izkustvene) in posredne (kvantitativne). Najpogostejša neposredna metoda je kartiranje in je pri snežnih plazovih uporabna pri izdelovanju lavinskega katastra. Posredne metode delimo na deterministične, statistične in probablistične (verjetnostne). Pri teh za izračun uporabljamo podatkovne sloje različnih vplivnih dejavnikov na plazenje in podatke o dejanskih snežnih plazovih (Komac in Zorn 2008).

Za ugotavljanje lavinske nevarnosti v občini Jezersko smo uporabili statistično metodo imenovano logaritemsko metodo indeksiranja (angleško *landslide index method*; Zorn in Komac 2008), ki temelji na primerjanju zemljevida snežnih plazov z zemljevidi, na katerih so predstavljeni različni vplivni dejavniki pomembni za njihovo sprožitev. Najprej smo izračunali pogostnost oziroma gostoto plazov pri določenih vrednostih oziroma razredih vplivnih dejavnikov (na primer za stopinjske razrede naklonov površja ali za razrede rabe tal, kot so travniki, pašniki) in jo nazadnje primerjali s pogostnostjo na celotnem preučevanem območju.

Vsakemu razredu smo nato pripisali utež ali ponder, izračunan s pomočjo naravnega logaritma ( $\ln$ ) tako, da smo logaritem gostote snežnih plazov v določenem razredu izbranega vplivnega dejavnika primerjali z logaritem gostote snežnih plazov na preučevanem območju. Izračunani naravni logaritmi imajo pozitivne in negativne vrednosti; pozitivne vrednosti imajo območja, kjer je gostota snežnih plazov nadpovprečna, negativne vrednosti pa območja, kjer je gostota snežnih plazov podpovprečna.

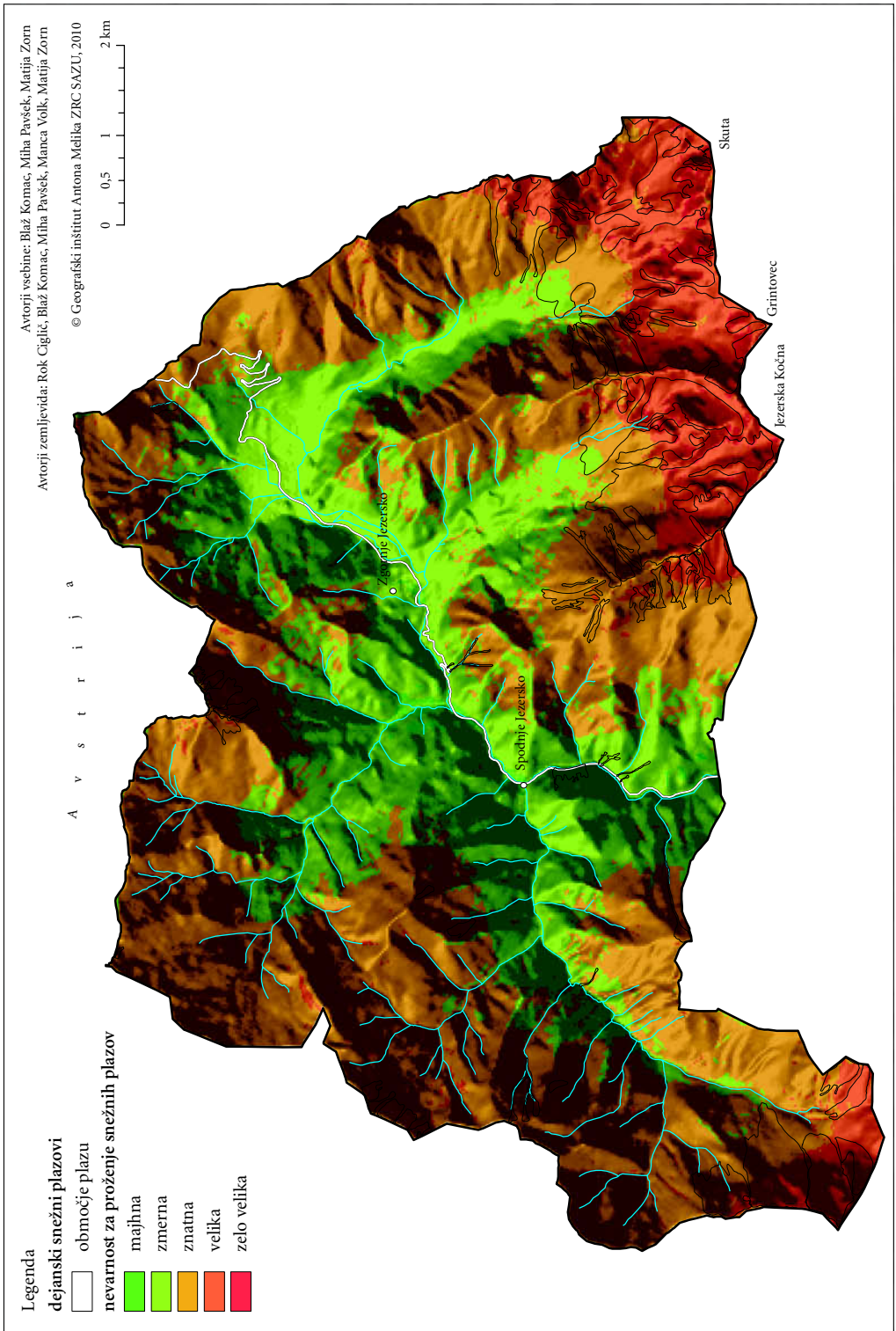
Naslednji korak je bila izdelava delnih zemljevidov z utežmi za posamezne vplivne dejavnike. Uteži z vrednostmi od 1 do 5 smo pripisali vsakemu razredu vplivnega dejavnika. Mejne vrednosti smo določili po četrтинah. Tako sodijo na primer v razred 1 vrednosti naravnega logaritma 0, v razred 2 vrednosti naravnega logaritma od 0 do 0,25 najvišje vrednosti naravnega logaritma, v razred 3 vrednosti naravnega logaritma od 0,25 do 0,50 najvišje vrednosti naravnega logaritma itd. Pri izdelavi smo uporabili osem vplivnih dejavnikov; ki so prikazani v preglednici 2. Za vsak vplivni dejavnik smo izdelali delni zemljevid, ki za vsak razred vplivnega dejavnika prikazuje uteži, izražene z vrednostjo logaritma. Iz delnih zemljevidov smo dobili zemljevid, ki prikazuje, kje je večja in kje manjša verjetnost proženja snežnih plazov. Končni zemljevid ima pet kategorij, ki so pripisani vsaki od celic uporabljenega digitalnega modela višin velikosti 25 krat 25 metrov. Na končnem zemljevidu so v petem razredu vsa tista območja, kjer je vpliv glede vseh vplivnih dejavnikov največji (vsi posamezni sloji imajo vrednost 5).

Pri modeliranju lavinske nevarnosti smo si pomagali s programskimi paketi *Idrisi*, *TAS* in *ArcGIS*.

Slika 7: Zemljevid lavinske nevarnosti za občino Jezersko, izdelan z logaritemsko metodo indeksiranja.

► (str. 144)





*Preglednica 2: Vplivni dejavniki, ki so bili poleg podatkov o dejanskih snežni plazovih uporabljeni pri izdelavi zemljevida lavinske nevarnosti.*

---

vplivni dejavniki, uporabljeni pri izdelavi zemljevida:

- naklon,
  - raba tal,
  - ekspozicija površja,
  - ukrivljenost površja,
  - največja višina snega s povratno dobo 50 let v obdobju 1951–2005,
  - povprečna skupna višina novozapadlega snega (> 10 cm) v obdobju od 1971/72 do 2000/01,
  - povprečno število dni s snežno odejo v obdobju od 1971/72 do 2000/01,
  - dolžina pobočij, merjeno od slemen navzdol.
- 

## 5 Sklep

Geografski informacijski sistemi so zelo pomembni za izdelavo različnih zemljevidov nevarnosti, saj omogočajo kombinacijo prostorskih in vsebinskih podatkov o različnih naravnih in družbenih pojavih. Kar zadeva zemljevide lavinske nevarnosti, je treba povedati, da temeljijo na podatkih lavinskega katastra, ki pa ni popoln. Treba bi ga bilo čim preje ažurirati in dopolniti. Enako seveda velja tudi za zemljevide lavinske nevarnosti. Izdelamo jih lahko z različnimi metodami, katerih rezultati se lahko do neke mere razlikujejo, a nas kljub temu soglasno opozarjajo na območja velike in največje nevarnosti snežnih plazov.

Članek je geografski prispevek k boljšemu poznavanju naravnega dogajanja, ki ga tudi širša javnost ne bi smela spregledati. Na koncu je pomemben praktični vidik; zemljevidi niso sami sebi namen, ampak jih je moč uporabiti za prostorsko načrtovanje bodisi na državni (kataster), regionalni (Državni prostorski načrt) kot tudi lokalni ravni (Občinski prostorski načrt). Zemljevidi nevarnosti so pomembna oblika preventive, kar je pomembno poudariti v času, ko spoznavamo, da je preventiva boljša kot odstranjevanje posledic.

## 6 Viri in literatura

- Ammann, W., Buser, O., Vollenwyder, U. 1997: Lawinen. Basel.
- Bernot, F., Horvat, A., Pavšek, M., Šegula, P., Valič, M., Mulej, F. 1994: Ogroženost Slovenije s snežnimi plazovi. Elaborat. Podjetje za urejanje hudournikov. Ljubljana.
- De Crécy, L. 1980: Avalanche zoning in France: regulation and technical basis. *Journal of Glaciology* 26. Cambridge.
- Kienholz, H., Grunder, M. 1986: Naturgefahren: Entwicklung eines Modells durch visuellen Kartenvergleich. Erfahrungen aus dem MAB-Testgebiet Davos. *Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft von Bern* 55. Bern.
- Klabus, A., Pavšek, M., Zorn, M., Komac, B. 2009: Poplavna, erozijska, plazovita in plazljiva območja na teritoriju občine Jezersko. VGP Projekt d. o. o. Kranj.
- Kňazovický, L. 1984: Nebezpečenstvo hôr. Bratislava.
- Komac, B., Pavšek, M., Zorn, M. 2007: Regionalni razvoj in naravne nesreče – preventiva ali odpravljanje posledic? Veliki razvojni projekti in skladni regionalni razvoj. *Regionalni razvoj* 1. Ljubljana.
- Komac, B., Zorn, M. 2005: Geomorfološke nesreče in trajnostni razvoj. *IB revija* 39-4. Ljubljana.
- Komac, B., Zorn, M. 2008: Pobočni procesi in človek. *Geografija Slovenije* 15. Ljubljana.

- Komac, M., Fajfar, D., Ravnik, D., Ribičič, M. 2008: Nacionalna podatkovna baza zemeljskih plazov. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008. Ljubljana.
- Kriz, K. 2001: Using GIS and 3D Modeling for Avalanche Hazard Mapping. Papers – International cartographic association–Commission on Mountain Cartography Session, Session Mountain Cartography Beijing. Medmrežje: [http://www.mountaincartography.org/publications/papers/ica\\_cmc\\_sessions/2\\_Beijing\\_Session\\_Mountain\\_Carto/5\\_Beijing\\_Kriz.pdf](http://www.mountaincartography.org/publications/papers/ica_cmc_sessions/2_Beijing_Session_Mountain_Carto/5_Beijing_Kriz.pdf) (1. 4. 2010).
- Kuhar, N. 2008: Ogroženost pred snežnimi plazovi v Kamniško-Savinjskih Alpah. Seminarsko delo. Filozofska fakulteta, Oddelke za geografijo. Ljubljana.
- McClung, D., Schaerer, P. 1993: The Avalanche Handbook. Seattle.
- Medmrežje 1: [http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas\\_Okolja\\_AXL@Arso](http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso) (1. 4. 2010).
- Medmrežje 2: <http://portal.geopedia.si/> (1. 4. 2010).
- Natek, K., Krevs, M., Lampič, B., Mrak, I., Ogrin, D., Repe, B., Stepišnik, U. 2010: Karte erozijske in poplavne nevarnosti, plazljivosti in nevarnosti snežnih plazov za območje občine Tržič. Elaborat. Filozofska Fakulteta, Oddelek za geografijo. Ljubljana.
- Pavšek, M. 2000: Fizičnogeografska pogojenost snežnih plazov v slovenskih Alpah s posebnim ozirom na preventivo. Magistrsko delo. Filozofska Fakulteta, Oddelek za geografijo. Ljubljana.
- Pavšek, M. 2002a: Snežni plazovi v Sloveniji. Geografija Slovenije 6. Ljubljana.
- Pavšek, M. 2002b: Simulacija ogroženosti površja zaradi snežnih plazov v slovenskih Alpah. Dela 18. Ljubljana.
- Perla, R. I., Martinelli M. 1975: Avalanche Handbook. Washington.
- Petrovič, D. 2010: Karta ogroženosti pred snežnimi plazovi – izboljšava obvestila o nevarnosti snežnih plazov (lavinskega biltena). Od razumevanja do upravljanja. Naravne nesreče 1. Ljubljana.
- Rabofsky, E. in drugi 1985: Lawinen Handbuch. Innsbruck.
- Šegula, P. 1986: Sneg, led, plazovi. Ljubljana.
- Vilaplana, J. M. 1992: Avalanche hazard location in the Catalan Pirenees (Spain). Lecture of European Summer University on Natural Hazard. Chamonix.
- Volk, M. 2010: Snežni plazovi v Karavankah. Diplomsko delo. Fakulteta za humanistične študije, Oddelek za geografijo. Koper.
- Zakon o urejanju prostora. Uradni list Republike Slovenije 33/2007. Ljubljana.
- Zorn, M., Komac, B. 2004: Deterministic modeling of landslide and rockfall risk. Acta geographica Slovenica 44-2. Ljubljana.
- Zorn, M., Komac, B. 2006: Geomorfologija in prostorsko planiranje. Urbani izziv 17, 1–2. Ljubljana.
- Zorn, M., Komac, B. 2008: Zemeljski plazovi v Sloveniji. Georitem 8. Ljubljana.
- Zorn, M., Komac, B., Natek, K. 2009: Naravne nesreče kot omejitveni dejavnik razvoja. Razvojni izzivi Slovenije. Regionalni razvoj 2. Ljubljana.
- Zorn, M., Komac, B., Pavšek, M. 2010: Hidro-geomorfološke nesreče in prostorsko načrtovanje. Od razumevanja do upravljanja. Naravne nesreče 1. Ljubljana.

## PREUČEVANJE TRIGLAVSKEGA LEDENIKA S POMOČJO ARHIVSKIH HORIZONTOVIH FOTOGRAFIJ

**dr. Mihaela Triglav Čekada, dr. Dalibor Radovan**

Geodetski inštitut Slovenije

mihaela.triglav@gis.si, dalibor.radovan@gis.si

**dr. Matej Gabrovec**

Geografski inštitut Antona Melika, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti

matej@zrc-sazu.si

**dr. Mojca Kosmatin Fras**

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani

mojca.kosmatin-fras@fgg.uni-lj.si

UDK: 551.324:528(234.323.6)

### IZVLEČEK

#### **Preučevanje Triglavskega ledenika s pomočjo arhivskih Horizontovih fotografij**

Od leta 1976 naprej se Triglavski ledenik redno enkrat mesečno fotografira s panoramskim fotoaparatom Horizont. Iz dveh stalnih stojišč se izdelata dve fotografiji, ki pa žal tvorita preveč ozek kot preseka med snemalnima osema, da bi omogočili stereozajem. Po preverjanju različnih možnosti zajema tridimenzionalnih točk s Horizontovih fotografij smo uporabili metodo interaktivne orientacije podrobnega digitalnega modela reliefa na fotografijo. S pomočjo te metode smo izračunali površine in teoretične prostornine ledenika med leti 1976 in 2005 v tri- do štiriletnih intervalih.

### KLJUČNE BESEDE

Triglavski ledenik, fotoaparati Horizont, panoramske fotografije, monoslikovna 3D restitucija, interaktivna orientacija, digitalni model reliefa

### ABSTRACT

#### **Investigation of Triglav glacier with archive Horizont images**

The panoramic Horizont camera is used for regular monthly photographing of Triglav glacier from 1976 on. Two images are taken from two fixed standpoints, which unfortunately form very convergent angle, to enable stereorestitution. Therefore different methods were tested to acquire 3D points from Horizont images and on the end interactive method of orientation of detailed digital elevation model on image was used. With the help of this method we have calculated areas and theoretical volumes of glacier between 1976 and 2005 for 3–4 year intervals.

### KEY WORDS

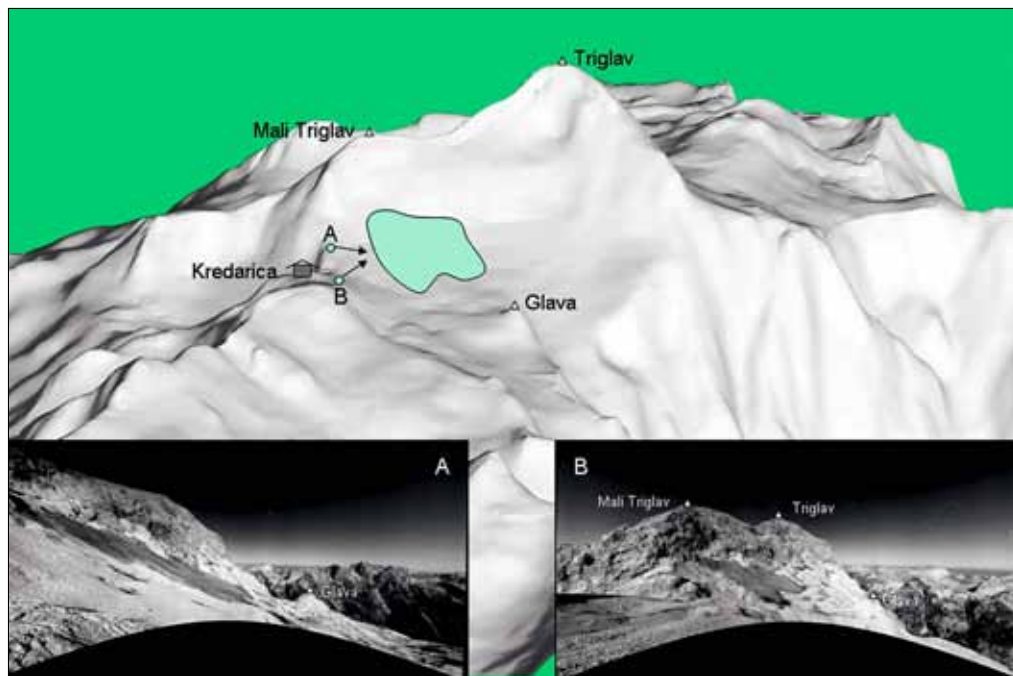
Triglav glacier, Horizont camera, panoramic images, 3D monorestitution, interactive orientation, digital elevation model

## 1 Uvod

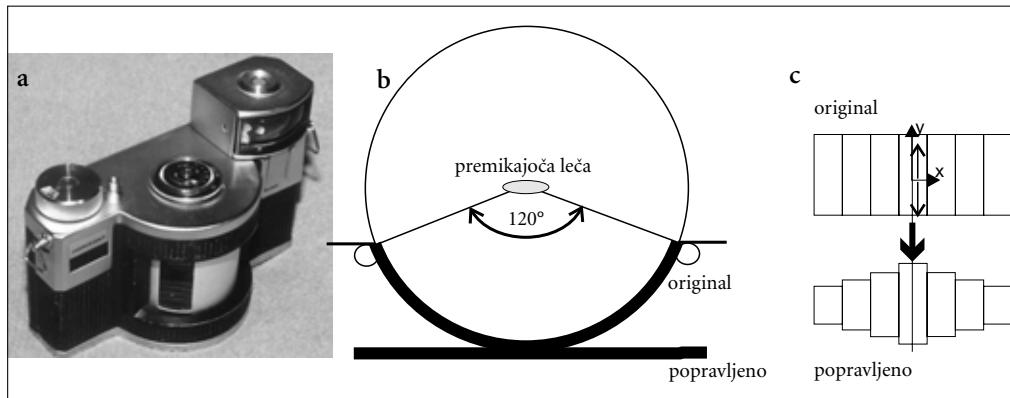
Geografski inštitut Antona Melika Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti redno spremlja zmanjševanje Triglavskega ledenika že od leta 1946 naprej. Spremljanje je bilo najprej omejeno na terenske meritve odmika ledu oziroma snega od merilnih točk, zarisanih po grbinah okoli ledenika (Šifrer in Košir 1976). Ker pa se je ledenik pričel čedalje bolj tanjšati in deliti na kose, so poleg terenskih meritev kmalu uvedli še vsakoletno fotografiranje ledenika na koncu talilne dobe. Te fotografije so bile praviloma posnete z Begunjskega vrha. Leta 1976 so začeli ledenik redno, približno enkrat mesečno, fotografirati s panoramskim nemerskim fotoaparatom Horizont z dveh stalnih stojišč v okolici Triglavskega doma na Kredarici. Poleg rednega fotografiranja pa so ledenik še vedno spremljali z enostavnimi meritvami s pomočjo kompasa in merilnega traku, občasno pa so izvedli še tahimetrične meritve (1952, 1995) ter od leta 1999 naprej tudi fotogrametrične meritve ledenika (Triglav in Gabrovec 2008).

Za redno fotografiranje ledenika so izbrali stojišči (na sliki 1 označeni kot stojišče A in stojišče B) v bližini Triglavskega doma na Kredarici, ki so jih stabilizirali z železnima cevema, višine približno 1 m in premera približno 1 cm ter s podstavkom, na katerega naslonimo fotoaparata. Da so zajeli v zorno polje fotoaparata celoten obseg ledenika, so izbrali panoramski nemerski fotoaparata Horizont. Zorno polje fotoaparata Horizont pokriva 120°, kar je doseženo z uporabo premikajočega objektivna po cilindru, na katerega je napet film (slika 2). Objektiv ima goriščno razdaljo 28 mm. Fotoaparata uporablja običajen maloslikovni 35 mm film, le da je format fotografij daljši od običajnih: 24 mm krat 58 mm. Ta tip fotoaparata so izdelovali v omejeni seriji le med letoma 1967 in 1973 (medmrežje 1).

Zaradi posebne geometrije nastanka fotografije – premikajočega se objektivna (slika 2b), kjer se opazovani motiv projicira na površino valja, kjer nastane fotografija, smo najprej izvedli kalibracijo

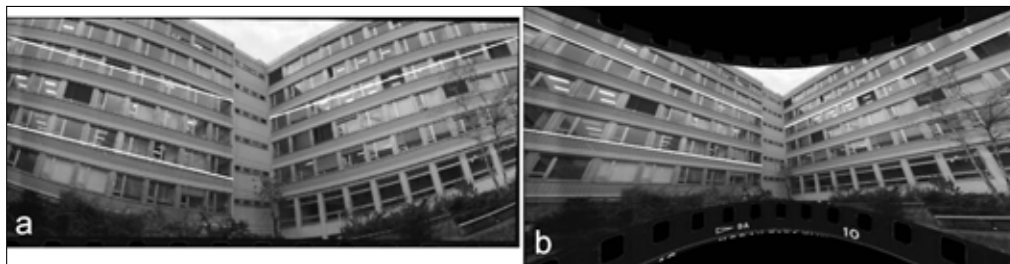


Slika 1: Lokacije stojišč A in B in smeri snemanja. V spodnjem levem vogalu je popravljen fotografija narejena s stojišča A, v spodnjem desnem vogalu pa popravljen fotografija iz stojišča B. Obe sta bili posneti 9. 8. 1992.



Slika 2: a) Fotoaparati Horizont, b) originalna fotografija in popravljena fotografija, c) sprememba merila podekspozicij originalne in popravljene fotografije.

fotoaparata. Kalibracijo smo izvedli na Tehnični univerzi na Dunaju (Triglav s sodelavci 2000), s katero smo opredelili preslikavo iz nastale fotografije (v nadaljevanju originalna fotografija) v fotografijo, kot bi jo dobili z običajnim fotoaparatom (v nadaljevanju popravljena fotografija) (slika 2c). Razliko med originalno fotografijo in popravljeno fotografijo se lepo vidi na primeru fasade Tehnične univerze Dunaj, ki je služila kot testno polje za potrebe kalibracije (slika 3).



Slika 3: a) originalna fotografija, b) popravljena fotografija.

S preslikavo Horizontove fotografije v popravljeno fotografijo le-tej odstranimo vertikalne distorzije (ukrivljenost slikovnega polja) in fotografijo lahko uporabimo na enake načine kot druge fotografije, narejene v centralni projekciji, kar omogoča uporabo različnih bližnjelikovnih principov fotogrametrije. Zaradi preveč ozkega kota presekov smeri optičnih snemalnih osi obeh fotografij ne moremo uporabiti stereoskopskega principa, zato smo morali poiskati druge načine uporabe teh fotografij za tridimenzionalni zajem oboda ledenika.

## 2 Testiranje različnih metod zajema

Da bi omogočili tridimenzionalni zajem iz Horizontovih fotografij, smo preizkusili tri možne metode obdelave:

- izdelavo pseudoortofotografij (Triglav in sodelavci 2000),
- klinometrijo (Triglav Čekada 2005) in
- interaktivno metodo orientacije digitalnega modela reliefa (DMR) na popravljeno fotografijo.

Prvi dve preizkušani metodi žal nista dali uporabnih rezultatov. V tuji literaturi najdemo še druge principe uporabe panoramskih fotografij za zajem podatkov: na primer izdelava posebnih panoramskih epipolarnih steroparov (Luhmann in Tecklenburg 2004) ali skupna uporaba podatkov terestričnega laserskega skeniranja in panoramskih fotografij (Wehr 2005).

Interaktivna metoda orientacije DMR-ja na eno fotografijo temelji na iskanju najbolj ujemajoče se projekcije DMR-ja na dvodimenzionalno fotografijo. S tem poiščemo orientacijske parametre fotografije (trije koti rotacij, tri koordinate projekcijskega centra, merilo). Kot že njeno ime pove, je ta metoda interaktivna in vključuje operaterjevo dobro poznavanje detajlov na fotografiji in v DMR-ju, ter zahteva veliko časa, da najdemo najbolj ujemajočo se projekcijo med DMR-jem in fotografijo (slika 4). Projeciran DMR lahko uporabimo za identifikacijo tridimenzionalnih točk na fotografiji in iskanje višinskih odstopanj med DMR-jem in fotografijo (Triglav Čekada in sodelavci 2007). Metoda je bila razvita za potrebe kontrole natančnosti podatkov laserskega skeniranja (Rönnholm s sodelavci 2003). V primeru Triglavskega ledenika smo s pomočjo interaktivne metode orientacije določali tridimenzionalni obod ledenika, samih sprememb v višini med fotografijo in uporabljenim DMR-jem pa za enkrat še nismo določevali.

### 3 Rezultati interaktivne metode orientacije

#### 3.1 Priprava podatkov

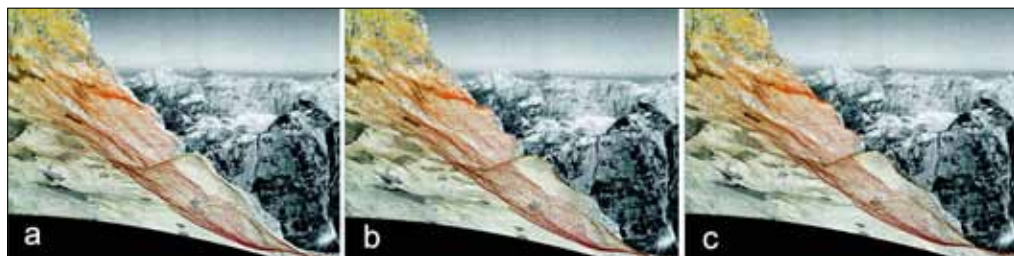
Obod Triglavskega ledenika leži na stiku med ledenikom in golim terenom. Zato lahko za preučevanje oboda ledenika uporabimo katerikoli novejši DMR okolice ledenika, ki prikazuje čimveč golega terena. Za preučevanje starejših Horizontovih fotografij smo v našem primeru vzeli DMR terena narejen na osnovi stereopara aeroposnetkov posebnega aerofotogrametričnega snemanja iz 25. 8. 2005, saj le-ta pokriva okolico ledenika v velikosti približno 1,5 km<sup>2</sup>. Na osnovi stereopara aeroposnetkov je bila izdelana topografska karta merila 1 : 1000 iz katere smo interpolirali DMR z velikostjo celice 2 m krat 2 m.

Za prvo obdelavo smo izbrali najlepše poletne Horizontove fotografije (brez senc, brez meglic) v trido štiriletnih intervalih. Izbrane fotografije so bile poskeniranje in preslikane v centralno projekcijo. Preslikane fotografije smo transformirali v enotno merilo določeno z dolžino fotografije 2000 slikovnih elementov (s tem se izognemo ugotavljanju spremembe merila med posameznimi fotografijami).

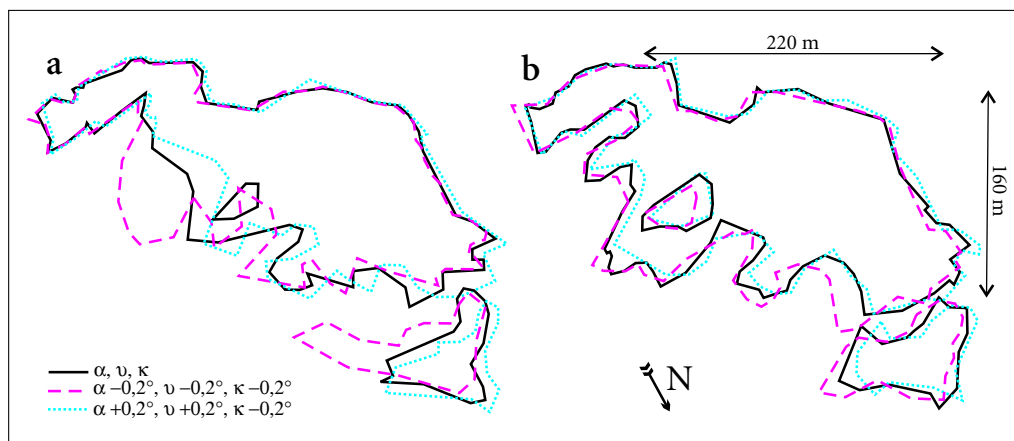
Za interaktivno metodo orientacije smo uporabili program, razvit posebej za potrebe obdelave Triglavskega ledenika (Triglav s sodelavci 2007). Ta program nam omogoča spreminjanje orientacijskih parametrov (trije koti rotacij, tri koordinate projekcijskega centra, merilo) in izbiro točk na obstoječem DMR-ju.

#### 3.2 Testiranje uporabnosti Horizontovih fotografij z obeh stojišč – kontrola natančnosti metode

Za ugotavljanje natančnosti uporabljene metode interaktivne orientacije, smo najprej izvedli interaktivno orientacijo testnega nabora Horizontovih fotografij, narejenih iz obeh stojišč v letih 1989, 1992, 1998 in 2005. Za vsako fotografijo smo določili orientacijske parametre in na osnovi vizualnega ujemanja (slika 4) določili največje še dopustno sprejemljivo odstopanje od pravih orientacijskih parametrov. Le-to smo omejili na odstopanje za vse tri kote naenkrat največ  $\pm 0,2^\circ$ . Za vsako fotografijo smo določili obod ledenika s tremi različnimi nastavitvami orientacijskih parametrov ( $+0,2^\circ$  za vse tri kote, pravi orientacijski parametri,  $-0,2^\circ$  za vse tri kote). Razlike med tako dobljenimi obodi ledenika so za testne Horizontove fotografije iz leta 1998 prikazane na sliki 5. Popravljeni Horizontovi fotografiji iz leta 1998 sta prikazani na sliki 6. Same razlike med obodi lahko pripišemo: razliki med orientacijskimi parametri in interpretacijski napaki določitve roba ledenika. Razlike med pravimi parametri in vsemi tremi koti večjimi za  $+0,2^\circ$  znašajo planimetrično povprečno 6–9 m. Enako planimetrično odstopanje dobimo med pravimi orientacijskimi parametri in vsemi tremi koti manjšimi za  $-0,2^\circ$ .



Slika 4: Razlika med orientacijskimi parametri: a)  $+0,2^\circ$  za vse tri kote, b) pravi orientacijski parametri, c)  $-0,2^\circ$  za vse tri kote.



Slika 5: Sprememba oboda ledenika stanja 1998, če spremenimo vse tri orientacijske kote za  $\pm 0,2^\circ$ : a) stojišče A, b) stojišče B.

Na osnovi treh obodov smo izračunali tri površine in tri teoretične prostornine ledenika za posamezno testirano Horizontovo fotografijo. Teoretična prostornina je določena z zgornjo ravnino, ki je ravna ploskev potegnjena med točkami oboda ledenika in spodnjo ploskvijo, ki je opredeljena z DMR-jem ledenika iz leta 2005. Ta DMR na območju ledenika ne prikazuje pravih golih tal, saj je v letu 2005 ledenik prekrival določen del golih tal. Kako globoko pod ledenikom so se gola tla nahajala pa ne vemo. Ta DMR predstavlja dovolj dober približek golih tal za našo študijo do nekje konca 1990-ih let. Prava prostornina mora upoštevati še razliko med konveksno zgornjo ploskvijo ledenika do srede 1980-ih let in spremembo zgornje ploskve v konkavno obliko po tem obdobju.



Slika 6: Popravljeni Horizontovi fotografiji iz 16. 8. 1998: a) stojišče A, b) stojišče B.

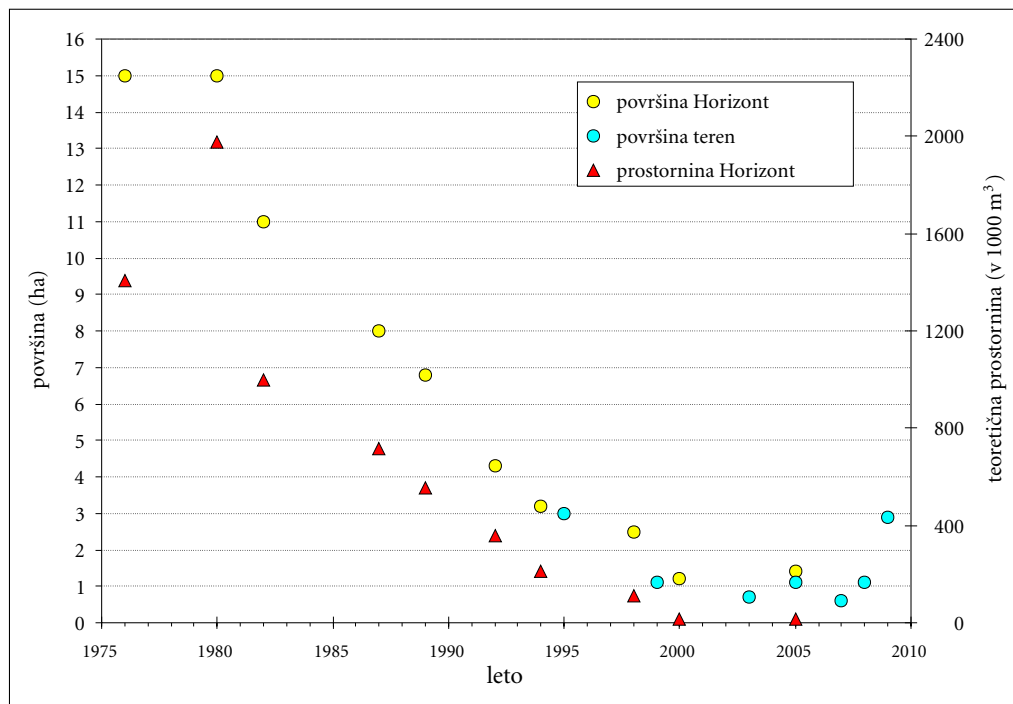


Na osnovi testnih 4 let smo izračunali standardno deviacijo površine ledenika, ki jo dobimo na osnovi interaktivne metode orientacije na  $\pm 0,12$  ha za stojišče A in  $\pm 0,05$  ha za stojišče B. Za standardno deviacijo teoretičnih prostornin smo dobili  $\pm 7 \times 1000 \text{ m}^3$  za stojišče A in  $\pm 5,5 \times 1000 \text{ m}^3$  za stojišče B. Vidimo, da so rezultati površin in teoretičnih prostornin boljši za stojišče B, kar se da pojasniti z bolj direktnim pogledom na ledenik s tega stojišča. Rezultate smo primerjali tudi s fotogrametrično pridobljeno površino ledenika za leto 2005, ki je znašala 1,1 ha. Ugotovili smo, da so rezultati podatkov pridobljeni iz Horizontovih fotografij primerljivi, saj dobimo površino ledenika merjeno iz stojišča B 1,4 ha. Pri tem moramo še upoštevati, da je med fotogrametričnim snemanjem in časom Horizontovega snemanja kar mesec dni razlike, saj je bila testna Horizontova fotografija posneta v septembru, aerofotogrametrično snemanje pa izvedeno že v avgustu, v tem času pa je zapadlo že nekaj novega snega, kar oteži interpretacijo robu ledenika iz Horizontovih fotografij.

### 3.3 Spremembe površin in teoretičnih volumnov ledenika

Ker dobimo boljše rezultate z uporabo fotografij narejenih s stojišča B, smo se odločili samo za obdelavo le-teh fotografij v nadaljevanju postopka, kjer smo preučili manjšanje ledenika skozi celotno obdobje Horizontovih snemanj od leta 1976 naprej. Za začetek smo si izbrali tri- do štiriletni interval, saj smo s tem pokrili celotno obdobje Horizontovih snemanj in uporabili le najlepše fotografije.

Na sliki 7 vidimo, da se površina ledenika dokaj linearno zmanjšuje do leta 2000. Od 1976 do 2000 se je površina ledenika zmanjšala na 8 % svoje osnovne velikosti. V desetletju med 2000 in 2009 pa se je zmanjševanje ledenika upočasnilo. Zaradi obilne zime v sezoni 2008/2009 je bilo v letu 2009 težko



Slika 7: Spremembe površine Triglavskega ledenika, pridobljene iz Horizontovih fotografij (beli krožci) in terenskih oziroma fotogrametričnih meritev (črni krožci). Teoretične prostornine so predstavljene z desno skalo (rdeči trikotniki).

določiti pravi rob ledenika, saj se je le-ta ves skrival pod plastjo snega, zato so nam dale tudi terenske meritve tako veliko površino. Leta 2007 je površina ledenik dosegla svoj najmanjši obseg 0,6 ha. Če bi primerjali največjo površino ledenika iz leta 1937, ko je le-ta znašala 27 ha (Gabrovec 2008), in najmanjšo površino 0,6 ha iz leta 2007, ugotovimo, da ga je v 70 letih izginilo kar 98 %.

Teoretična prostornina se je v obdobju med 1976 in 1998 prav tako drastično zmanjšala, saj je padla iz 1.400.000 m<sup>3</sup> leta 1976 na 95.000 m<sup>3</sup> leta 1998.

## 4 Sklep

V prispevku smo predstavili interaktivno metodo orientacije posameznih panoramskih nemetričnih Horizontovih fotografij s pomočjo katere smo izmerili tridimenzionalne obode Triglavskega ledenika. Tridimenzionalni obodi ledenika so služili kot osnova za izračun površine in teoretičnih prostornin ledenika. Poleg tega smo ocenili tudi dopustne standardne deviacije tako izračunanih površin in teoretičnih prostornin. Na osnovi obdelave seta Horizontovih fotografij narejenih s stojišča B, smo ugotovili zmanjšanje površine ledenika iz 15 ha v letu 1976 na 8 % originalne velikosti v letu 2000 ter zmanjšanje prostornine v letu 1998 na 7 % originalne velikosti iz leta 1976, ko je ta znašala 1.400.000 m<sup>3</sup>.

## Zahvala

*Za dolgoletno redno fotografiranje Triglavskega ledenika s fotoaparatom Horizont se zahvaljujemo meteorologom na Kredarici. Analizo Horizontovih fotografij je delno sofinancirala Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije v okviru projekta L6-7136.*

## 5 Viri in literatura

- Gabrovec, M. 2008: Il ghiacciaio del Triglav (Slovenia) = The Triglav glacier. Ghiacciai montani e cambiamenti climatici nell' ultimo secolo. Terra glacialis. Milano.
- Luhmann, T., Tecklenburg, W. 2004: 3-D object reconstruction from multiple-station panorama imagery. ISPRS proceedings »Panoramic Photogrammetry Workshop« 34(5/W16). Dresden.
- Medmrežje 1: Soviet KMZ swing panorama camera family. <http://www.eyescoffee.com/collectcamera/horizont/index.php> (1. 8. 2009).
- Rönholm, P., Hyypä, H., Pöntinen, P., Haggrén, H. 2003: Interactive relative orientation between terrestrial images and airborne laser scanning data. ISPRS proceedings (WG III/3) »3-D reconstruction from airborne laserscanner and InSAR data«. Dresden.
- Šifer, M., Košir, D. 1976: Nova dognanja na Triglavskem ledeniku in ledeniku pod Skuto 1963–1973. Geografski zbornik 15. Ljubljana.
- Triglav Čekada, M. 2005: Test uporabnosti fotoklinometrije za monislikovno restitucijo. Geodetski vestnik 49-3. Ljubljana.
- Triglav Čekada, M., Gabrovec, M. 2008: Zgodovina geodetskih meritev na Triglavskem ledeniku. Geodetski vestnik 52-3. Ljubljana.
- Triglav Čekada, M., Štrumbelj, E., Jakovac, A. 2007: Test uporabnosti interaktivne metode orientacije na primeru posnetkov Triglavskega ledenika. Geodetski vestnik 51-1. Ljubljana.
- Triglav, M., Kosmatin Fras, M., Gvozdanovič, T. 2000: Spremljanje površja ledenikov s fotogrametrijo, študija na primeru Triglavskega ledenika. Geografski zbornik 40. Ljubljana.
- Wehr, A. 2005: Laser scanning and its potential to support 3D panoramic recording. ISPRS proceedings »Panoramic Photogrammetry Workshop« 36(5/W8). Berlin.



## MODELIRANJE PRISPEVNIH OBMOČIJ POVRŠINSKIH VODA V GIS-U ZA SMOTRNO UPRAVLJANJE ZEMLJIŠČ

**dr. Anka Lisec, mag. Samo Drobne**

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani  
anka.lisec@fgg.uni-lj.si, samo.drobne@fgg.uni-lj.si

**Primož Kovačič**

Stari trg 22, 3215 Loče  
kovacic.primoz@gmail.com

UDK: 556.5:711.14(497.4)  
659.2:004:91(497.4)

### IZVLEČEK

#### **Modeliranje prispevnih območij površinskih voda v GIS-u za smotrno upravljanje zemljišč**

V prispevku predstavljamo metodo določevanja prispevnih območij površinskih voda v GIS na osnovi uporabe digitalnih modelov višin. Določevanje prispevnih območij na testnem območju, zgornjem toku reke Dravinje, smo izvedli s pomočjo orodij ArcHydro. Osnovni namen raziskave je določiti prispevna območja površinskih voda za poljubno izbrano točko (lokacijo). Poudarek je na modeliranju prispevnih območij površinskih voda ter nadalje na analizi rabe zemljišč in drugih pojavov na prispevnem območju za zbrano točko, kar lahko predstavlja podporo smotrnemu upravljanju zemljišč in voda.

### KLJUČNE BESEDE

prispevno območje, razvodnica, DMR, GIS, raba tal, upravljanje zemljišč, upravljanje voda

### ABSTRACT

#### **Modelling catchment area of surface water in GIS for suitable land management**

In the paper, the method for defining catchment areas of surface waters in GIS, based on digital elevation models, is presented. Determination of catchment areas in the study area, the upper part of Dravinja watershed, has been implemented using ArcHydro tools. The main purpose of the research has been to determine catchment areas of surface waters for any point (location). The emphasis is on modelling catchment areas of surface waters and furthermore on extracting land use patterns and other phenomena within the catchment areas for the selected point, which can contribute to suitable land and water management.

### KEY WORDS

catchment area, watershed, DMR, GIS, land use, land management, water management

## 1 Uvod

Pristopi na področju vodne politike, kot tudi na drugih okoljskih področjih, so pogosto delni, obravnavanje naravnih virov ter z njimi povezanih težav je lokalno in sektorsko. Vodna direktiva Evropske unije (Direktiva evropskega parlamenta ... 2000) zahteva sodelovanje vseh deležnikov, ki posredno ali neposredno vplivajo na kakovost in upravljanje voda. Pomemben del direktive se tako nanaša na upravljanje in rabo zemljišč znotraj povodij oziroma prispevnih območij površinskih voda. Osnovni namen takega celovitega pristopa, skupnega obravnavanja zemljiške in vodne politike, je z ustreznim pristopom k upravljanju zemljišč zmanjšati onesnaževanje voda ter slediti cilju varovanja ekoloških potencialov voda (Moss 2004; Jessel in Jacobs 2005). Skupni pristop različnih sektorjev k upravljanju voda in zemljišč je deloma politična odločitev, na kar opozarja Moss (2004), toda uspešno izvajanje Vodne direktive je odvisno tudi od kakovostnih strokovnih podlag in podatkov ter učinkovitega delovanja na področju zemljiške in vodne politike.

Za potrebe upravljanja voda (in zemljišč) je treba osnovne hidrografske enote, kot so porečja in povodja, pogosto deliti na manjša prispevna območja. Pri modeliranju sistemov površinskih voda si pomagamo z razvodnicami. V hidrološkem izrazju (Mikoš s sodelavci 2003) je razvodnica opredeljena kot greben ali mejna črta med sosednjima prispevnima površinama, prispevno območje pa kot območje, ki ima skupen iztok lastnih površinskih voda. Povezavo med upravljanjem voda in zemljišč lahko torej predstavljajo prispevna območja površinskih voda.

Na področju hidrološkega modeliranja in dodatnih prostorskih analiz je veliko izzivov prinesel razvoj geografskih informacijskih sistemov – GIS (Brilly s sodelavci 1993; Globevnik in Vidmar 2004). V raziskavi smo v okolju GIS-a modelirali prispevna območja površinskih voda za poljubno točko. S problemom določevanja prispevnega območja površinskih voda za poljubno lokacijo se srečujemo pogosto, na primer pri ugotovitvi onesnaženosti vode na točki odvzema vzorca. Največjo težavo pri iskanju vzroka oziroma povzročitelja onesnaževanja predstavlja določevanje prispevnih območij, območij, s katerih se steka površinska voda v to točko. Na osnovi določitve prispevnega območja izbrane točke (lokacije) površinskih voda lahko v okolju GIS-a opravimo različne analize, kot so vrsta rabe, lastniki zemljišč, lastnosti tal in podobno.

## 2 Osnovni pojmi in metode dela

Prispevno območje površinskih voda, ki je določeno z razvodnicami, je topografsko območje, s katerega vsa voda odteče proti eni sami točki, imenovani tudi jašek ali iztok (Sathyamoorthy 2008). Način določanja razvodnic je odvisen od topografskih podatkov oziroma modelov površja, ki so na voljo, saj so slednji ključni za modeliranje površinskih vodnih tokov.

Tradicionalno so bile razvodnice izpeljane ročno s topografskih kart. Prva, ki sta na področju hidrologije uporabila topografsko prilagojene elemente, določene na podlagi načrta plastnic, sta bila Onstad in Brakensiek (1968, citirano po Petkovšek 2001). Z razvojem informacijske tehnologije so klasične, ročne rešitve zamenjali polavtomatski in avtomatski postopki modeliranja razvodnic. Slednji največkrat temeljijo na podatkih digitalnega modela višin, če so meje povodij oziroma prispevnih območij odvisne od površja (glej Lian in Maackay 2000; Petkovšek 2001; Sun s sodelavci 2003; Sathyamoorthy 2008), kar ne velja za kraška območja. Primerjava klasičnega pristopa modeliranja razvodja na osnovi plastnic z avtomatskim modeliranjem razvodij na osnovi digitalnega modela reliefa je za primer povodja Rokave podal Petkovšek (2001), ki je sklenil, da so rezultati modeliranja razvodij na osnovi digitalnega modela reliefa veliko bolj zanesljivi v gričevnatem in hribovitem svetu, nekoliko manj pa v ravnini.

V nalogi smo predpostavili, da so prispevna območja površinskih vodnih teles odvisna od površja (kar za kraška območja ne velja). V tem primeru lahko na osnovi digitalnega modela višin določimo razvodnice oziroma prispevna območja površinskih voda. Testno območje predstavlja povodje zgor-



Slika 1: Območje obravnave – zgornji del Dravinjske doline, območje zgorjnjega toka reke Dravinje.

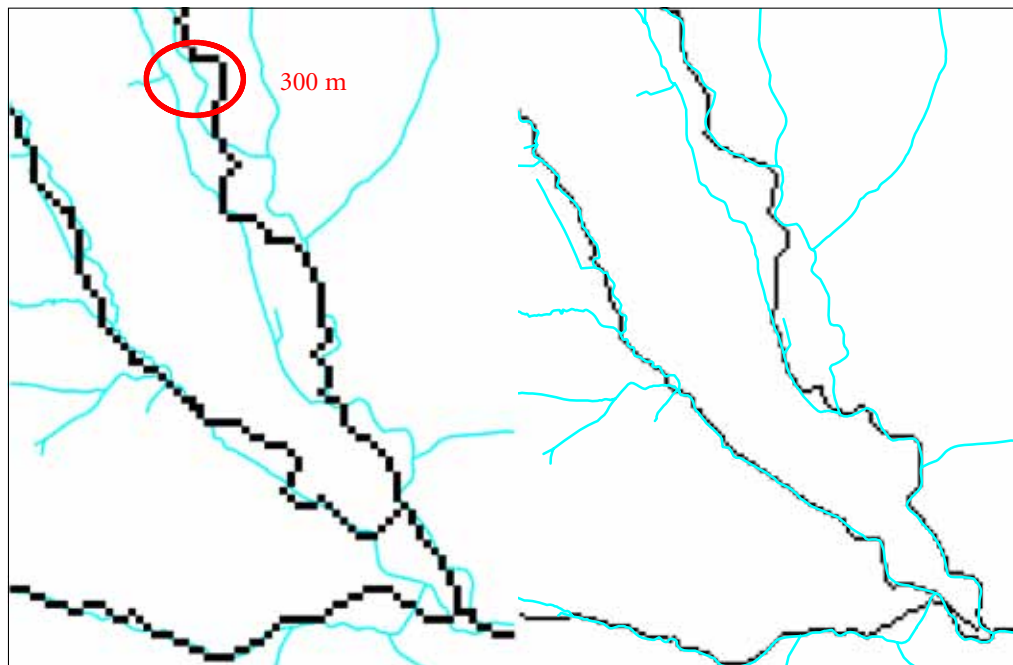
njega toka reke Dravinje, ki je na severu omejeno s Pohorjem, nato sledi glavnemu toku reke Dravinje skozi Zreče in Slovenske Konjice, kjer je na zahodu omejeno s Konjiško goro in na vzhodu z vinorodnim okolišem Škalc, vključuje pa še del zgornje Dravinjske doline med krajema Draža vas in Loče. Območje zavzema del vitanjske, zreške, bistriške, oplotniške in konjiške občine (slika 1) in predstavlja del Hidrografskega območja 3 v okviru uradne delitve Slovenije na hidrografska območja.

Določitev prispevnega območja površinskih voda za poljubno točko v nalogi temelji na predhodni izdelavi razvodnic območja na osnovi digitalnega modela višin. Drugi korak predstavlja izgradnjo hidrografske mreže in določitev odnosov med prispevnimi območji in vodotoki. Sklepni del podaja rešitev za določevanje prispevnega območja površinskih voda za poljubno točko obravnavanega območja, katere pomen nadalje predstavljamo za primer analize rabe tal na tako določenih prispevnih območjih površinskih voda.

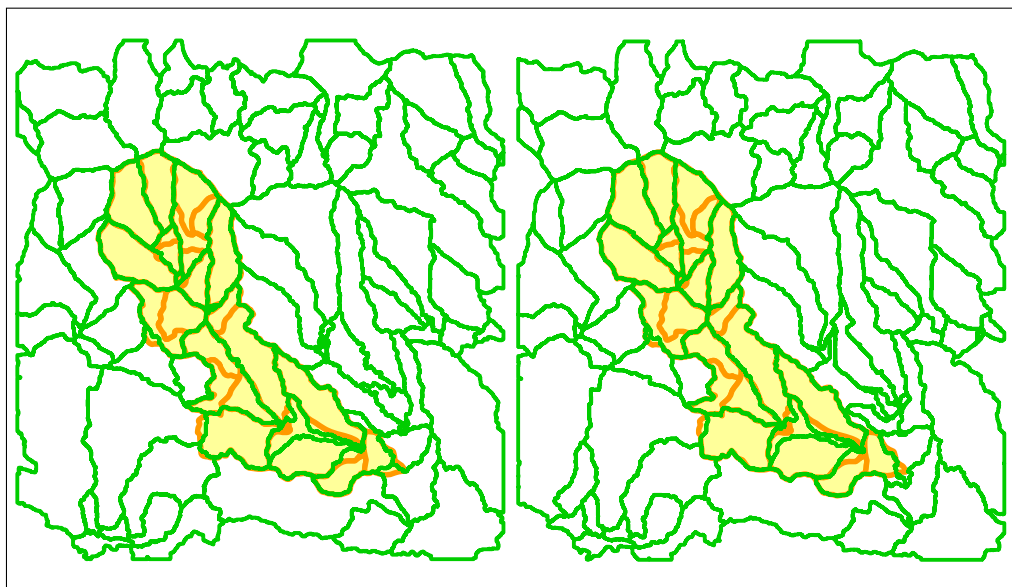
V raziskavi smo uporabili programsko orodje *ArcHydro*, ki je razširitev programske rešitve *ArcGIS* podjetja ESRI in je nastalo v sodelovanju s Centrom za raziskave vodnih virov Univerze v Teksasu (Maidment s sodelavci 2002). Osnovo za modeliranje prispevnih območij sta predstavljata digitalna modela višin s prostorsko ločljivostjo 25 m (DMV 25) ter 12,5 m (DMV 12,5) Geodetske uprave Republike Slovenije (GURS 2009a). Za oceno rezultata smo razvodnice, modelirane s pomočjo rešitve *ArcHydro*, primerjali s podatki Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO 2009). Podobno kot Petkovšek (2001) smo ugotovili, da so največja odstopanja na ravninskih območjih (glej Kovačič 2009). Za modeliranje hidrografske mreže smo v drugem delu izhajali iz vektorskih podatkov Generalizirane kartografske baze 1 : 25.000 (GURS 2009b). Razvodnice in hidrografska mreža so predstavljali osnovo za določitev prispevnega območja površinskih voda poljubne točke. Kot primer uporabe smo nato za izbrano točko (lokacijo) analizirali rabo zemljišč po podatkih kmetijskega ministrstva (MKGP 2009) in katastrskih podatkih (GURS 2009c).

### 3 Rezultati in razprava

Izhodišče za izdelavo prispevnega območja površinskih voda za poljubno točko predstavlja modeliranje razvodnic območja. Pri določevanju prispevnih območij na osnovi digitalnega modela višin (DMV) je treba za zagotovitev kakovosti predhodno odpraviti pomanjkljivosti modela reliefa (DMR). Slednji



Slika 2: Primerjava vodotokov, modeliranih iz DMR-jev (črna, rastrski sloj) z vektorskim slojem vodnih teles (modra) na hribovitem območju (desno DMR 25, levo DMR 12,5).



Slika 3: Primerjava razvodnic, določenih na osnovi DMR-ja (zeleno) z razvodnicami ARSO (oranžno) na testnem območju (desno DMR 25, levo DMR 12,5).

za razliko od DMV, ki vsebuje le podatke o višini točk, predstavlja model zemeljskega površja, zapisan z zveznimi in pogosto gladkimi ploskvami. Glede na to, da vsebuje DMR tudi vse elemente DMV-ja, bomo za obe vrsti opisa reliefa uporabili poenostavljen in nekoliko površen izraz digitalni model reliefa, kot je to predlagal tudi Podobnikar (2003).

Za opredelitev vodnih tokov, ki ga za izdelavo prispevnega območja poljubne točke zahteva rešitev *ArcHydro*, smo predhodno odpravili pomanjkljivosti DMR-ja. Tako imenovane lažne depresije smo odpravili z metodo zapolnitve depresij, saj na območju ni stoječih površinskih vodnih teles. Dodatno smo DMR popravili na osnovi vektorskega sloja vodnih teles (GURS 2009b), kjer smo podatek o (nad-morski) višini rastrskih celic, ki sovpadajo z vektorskim slojem voda, umetno znižali. Tako smo prispevali h kakovosti modela vodnega toka in površinskih vodnih teles, kot enega izmed korakov določitve prispevnega območja površinskih voda poljubne točke (glej Kovačič 2009).

Sledi korak opredelitve vodnih tokov, kjer posredno vplivamo na število in velikost prispevnih območij površinskih voda. Vhodni prag za obravnavano območje smo določili na osnovi povprečne velikosti razvodij Slovenije na taki lokalni ravni, ki je 3 km<sup>2</sup>. Rezultate določitve vodnih tokov za primer uporabe obeh digitalnih modelov reliefa (s prostorsko ločljivostjo 25 m in 12,5 m) smo primerjali z vektorskim slojem vodotokov Generalizirane kartografske baze GKB 25 (GURS 2009b).

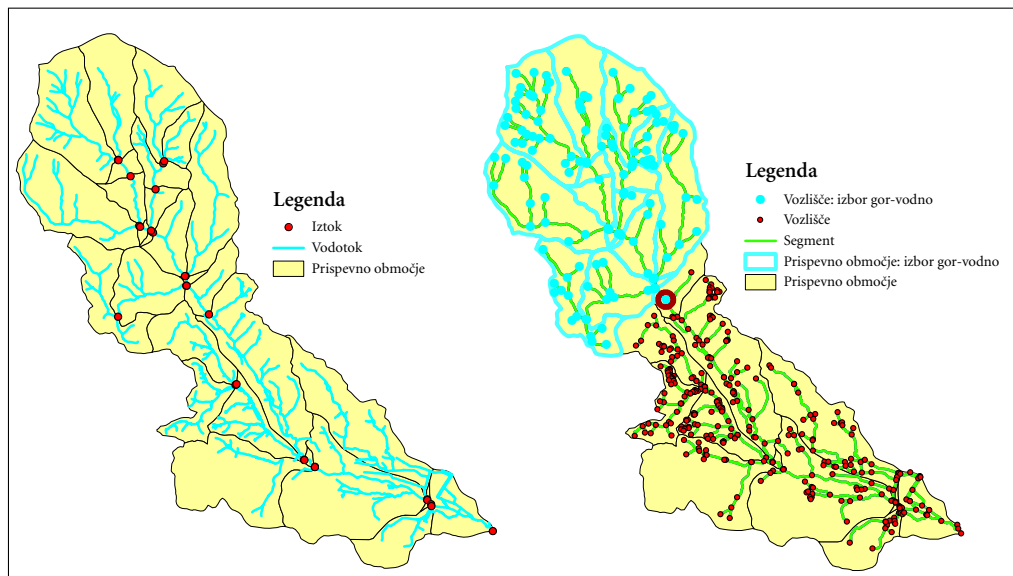
Ugotavljamo, da tako opredeljeni vodotoki na osnovi DMR-ja relativno dobro sovpadajo s podatki GKB 25 na hribovitem, strmejšem območju (severni del testnega območja), medtem ko se ta odstopanja povečajo že v prehodu v bolj ravninski del (slika 2), na ravninskem južnem delu pa so odstopanja tudi večja od 400 m. Na sliki 2 je za primer DMR 25 (levo) shematično prikazana velikost odstopanja modeliranih vodotokov od podatkov GKB 25, ki v povprečju znaša 300 m. Pričakovano pride do večjih odstopanj v primeru podatkov DMV 25 v primerjavi z DMV 12,5. Odstopanja se pojavljajo predvsem pri izlivih vodotokov, največjo težavo pa predstavljajo potoki oziroma reke, ki imajo dokaj razvejeno vejo tokov in so si geografsko blizu.

Postopku opredelitve vodnih tokov sledi modeliranje razvodnic oziroma prispevnih območij na osnovi DMR-ja in opredeljenih vodnih tokov. Pri tem je treba predhodno določiti posamezne segmente hidrografske mreže (dele vodotokov) in jih topološko urediti. Na ta način lahko skupaj s predhodno pripravljenimi podatki o smeri vodnih tokov določimo prispevna območja površinskih vodotokov, ki so izvorno v rastrski obliki. Za nadaljnje delo smo morali rastrske podatke prispevnih območij spremeniti v vektorski zapis. Slednje smo primerjali z razvodnicami Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO 2009). Do odstopanj pride tudi zaradi predhodno določenega vhodnega praga povprečne velikosti razvodij 3 km<sup>2</sup>, praviloma pa so vse manjše prostorske enote po podatkih ARSO (2009) del večje prispevne površine našega modela. Do večjih odstopanj ponovno pride na ravninskem območju, južnem delu območja obravnave (slika 3).

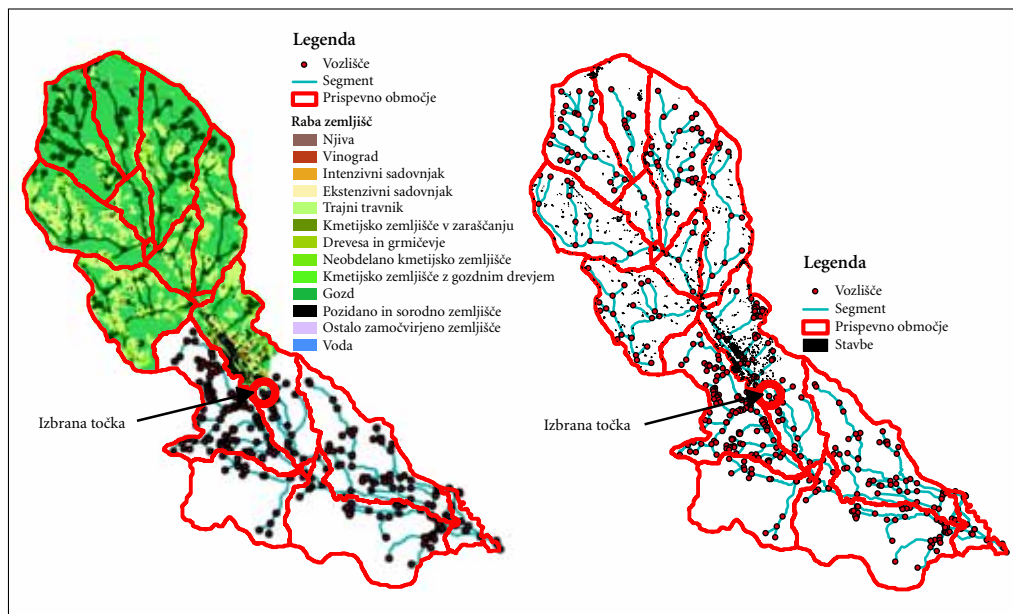
Za določitev prispevnih območij poljubne točke površinskih voda si nadalje pomagamo s hidrografsko mrežo. Hidrografsko mrežo obravnavamo v okolju GIS-a kot geometrično mrežo, ki je sestavljena iz segmentov in vozlišč. Vozlišča so na koncu in na stikih segmentov. Vhodne podatke so predstavljali vektorski podatki vodotokov GKB 25 (GURS 2009b), ki smo jih morali topološko urediti, kar med drugim vključuje povezovanje segmentov in vozlišč ter s tem določevanje smeri toka. Dodatno je treba topološko urejeno hidrografsko mrežo povezati z območji, ki jih v splošnem delimo na vodna telesa (na primer jezera) in prispevna območja.

Hidrološka mrežo in prispevna območja smo povezali z iztokom iz območja (slika 4). Ta topološka povezava je izrednega pomena pri določanju prispevnih območij površinskih voda, saj omogoča sledenje gibanja površinske vode po površju proti iztoku in nato naprej po hidrografski mreži, kar poudarjajo tudi Olivera s sodelavci (2002). Povezava med hidrografsko mrežo in prispevnimi območji pomeni tudi ureditev topoloških odnosov med prispevnimi območji. Slednje omogoča določitev območja hidrološkega vpliva, ki pove, (1) katera območja vplivajo na izbrano območje oziroma točko ali, (2) na katera območja vpliva izbrano območje oziroma točka. Pomanjkljivost tako določenih prispevnih območij je predvsem v omejitvi izbranih točk na iztoke posameznih prispevnih območij.





Slika 4: Prispevna območja, vodotoki ter določitev iztokov območja zgornjega toka reke Dravinje (levo) kot povezava hidrografske mreže s prispevnimi območji, ki omogoča določitev prispevnih območij do zadnjega iztoka gorvodno za izbrano vozlišče, označeno rdeče (desno).



Slika 5: Raba tal (levo) in stavbe (desno) gorvodno – na prispevnih območjih površinskih voda izbrane točke (označena rdeče).

Omenjeni pristop k določevanju prispevnega območja je torej omejen na točke iztoka na hidrografskem omrežju, ki so izhodne točke prispevnih območij gorvodno. V praksi nas praviloma ne zanima le iztok predhodnega prispevnega območja, ampak določitev prispevnega območja površinskih voda za poljubno točko. Za ta namen je treba najprej določiti cela prispevna območja do predhodnega (zadnjega) iztoka glede na prispevno območje, kjer leži izbrana točka. Dodatno se mora na osnovi tokov površinskih voda določiti prispevno območje znotraj že modeliranega razvodja. Programska rešitev *ArcHydro* pri tem zahteva modeliranje razvodnic na osnovi lastnosti terena (DMR), zato razvodnice ARSO (2009) v tem primeru niso bile primerne. Rastrski podatki o smeri toka površinske vode so namreč osnova za določitev prispevnega pod-območja znotraj prispevnega območja, v katerem leži izbrana točka.

Prispevno območje površinskih voda izbrane točke je območje oziroma poligon, ki vsebuje vsa (cela) prispevna območja gorvodno od izbrane točke in del prispevnega območja, v katerem točka leži (slika 5). Na ta način pridobimo podatek o prispevnem območju površinskih voda za poljubno izbrano točko. Slednje omogoča, da s standardnimi orodji GIS analiziramo prostorsko opredeljene pojave na tako določenih prispevnih območjih.

Za prispevno območje površinskih voda izbrane točke sta na sliki 5 prikazana izseka iz vektorskih podatkovnih slojev dejanske rabe zemljišč (levo) in katastra stavb (desno). Izdelamo lahko povzetke opisnih podatkov izbranih podatkovnih slojev znotraj prispevnih območij. Kot primer navajamo izpis površin po vrsti dejanske rabe (MKGP 2009) prispevnega območja površinskih voda za izbrano točko (preglednica 1). Za posamezno vrsto dejanske rabe je povzeta površina znotraj prispevnega območja.

*Preglednica 1: Raba zemljišč gorvodno od izbrane točke na območju obravnave – območje zgornjega toka reke Dravinje (kot je prikazano na sliki 5).*

dejanska raba	površina (ha)
njiva	25,90
vinograd	11,62
intenzivni sadovnjak	0,58
ekstenzivni oziroma travniški sadovnjak	62,32
trajni travnik	1321,96
kmetijsko zemljišče v zaraščanju	18,40
drevesa in grmičevje	24,55
neobdelano kmetijsko zemljišče	0,88
kmetijsko zemljišče, poraslo z gozdnim drevjem	20,75
gozd	3772,40
pozidano in sorodno zemljišče	314,75
ostalo zamočvirjeno zemljišče	0,06
voda	5,81

## 4 Sklep

Prispevno območje površinskih voda predstavlja zaključeno enoto površja, samostojno entiteto s svojim območjem vpliva, in je tako primerna enota za analize lastnosti in pojavov v tako določenem geografskem območju. Kot primer sta v članku podani analiza rabe tal znotraj prispevnega območja površinskih voda izbrane točke ter prikaz podatkov katastra stavb znotraj tako določenega območja. Izbrana točka (lokacija) lahko predstavlja na primer merilno mesto ob vodotoku ali pa točko onesnaženosti, ki je bila ugotovljena na terenu ob standardni kontroli kakovosti vodotokov. Predstavljen pristop

modeliranja prispevnih območij v okolju GIS-a omogoča hiter pregled stanja gorvodno od poljubne točke. Tak pristop lahko predstavlja na eni strani pomoč smotrnemu gospodarjenju zemljišč za namen zagotavljanja kakovosti voda, ali pa osnovo za odkrivanje slabih praks onesnaževanja voda ter pomoč pri ustreznem izvajanju vodne in zemljiške (kmetijske) politike.

## 5 Viri in literatura

- ARSO 2009: Prostorski podatki spletne strani Agencije Republike Slovenije za okolje. Medmrežje: <http://www.arso.si> (11. 5. 2009).
- Brilly, M., Smith, M., Vidmar, A. 1993: Spatially oriented surface water hydrological modelling and GIS. Application of Geographical Information Systems in Hydrology and Water Resources. Dunaj.
- Direktiva Evropskega parlamenta in sveta 2000/60/ES o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike. Uradni list EU 60/2000. Bruselj.
- Globevnik, L., Vidmar, A. 2004: Zasnova integriranega ekspertnega informacijskega sistema za upravljanje z vodami v Sloveniji. Acta hydrotechnica 36. Ljubljana.
- GURS 2009a: Digitalni model višin DMV25 in digitalni model višin DMV12,5. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana.
- GURS 2009b: Generalizirana kartografska baza za raven merila 1 : 25.000 (GKB25). Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana.
- GURS 2009c: Kataster stavb, Zemljiški kataster. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana.
- Jessel, B., Jacobs, J. 2005: Land use scenario development and stakeholder involvement as tools for watershed management within the Havel River Basin. Limnologica – Ecology and Management of Inland Waters 3.
- Kovačič, P. 2009: Določevanje prispevnih območij površinskih voda v GIS za smotrno upravljanje zemljišč. Diplomsko delo. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana.
- Lian, C., Maackay, S. 2000: A general model of watershed extraction and representation using globally optimal flow paths and up-slope contributing areas. International Journal of Geographical Information Science 4.
- Maidment, D., Morehouse, S., Grise, S. 2002: Arc Hydro framework. Arc Hydro: GIS for Water Resources. Redlands.
- Mikoš, M., Krajnc, A., Maticič, B., Müller, J., Rakovec, J., Roš, M., Brilly, M. 2003: Hidrološko izrazje. Acta hydrotechnica 32. Ljubljana.
- MKGP 2009: Podatki dejanske rabe zemljišč. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Medmrežje: <http://www.mkgp.gov.si> (11. 5. 2009)
- Moss, T. 2004: The governance of land use in river basins: prospects for overcoming problems of institutional interplay with EU Water Framework Directive. Land Use Policy 21.
- Olivera, F., Maidment, D., Honeycutt, D. 2002: Hydro networks. Arc Hydro: GIS for Water Resources. Redlands.
- Petkovšek, G. 2001: Analiza razlik med metodami avtomatskega določanja razvodnic na primeru povodja Rokave. Acta hydrotechnica 30. Ljubljana.
- Podobnikar, T. 2003: Kronologija izdelave digitalnega modela reliefa. Geodetski vestnik 47, 1–2. Ljubljana.
- Sathyamoorthy, D. 2008: Extraction of Watersheds from Digital Elevation Models Using Mathematical Morphology. Journal of Applied Sciences 6.
- Sun, H., Cornish, P. S., Daniell, T. M. 2003: Digital Elevation Hydrological Modelling in a Small Catchment in South Australia. Nordic Hydrography 3.

## UPORABA GIS ORODIJ PRI IZDELAVI KART MESEČNIH VREDNOSTI SPECIFIČNIH PRETOKOV V SLOVENIJI

**Peter Frantar**

Agencija Republike Slovenije za okolje  
peter.frantar@gov.si

**dr. Irena Rejec Brancelj**

Ministrstvo za okolje  
irena.rejec-brancelj@gov.si

UDK: 91:556.53(497.4)  
659.2:004:91

### IZVLEČEK

#### **Uporaba GIS orodij pri izdelavi kart mesečnih vrednosti specifičnih pretokov v Sloveniji**

Preučevanje elementov vodnega kroga je osnova za upravljanje z vodami. Vodni krog tvorijo trije glavni elementi: padavine, izhlapevanje ter odtok. Za analizo vpliva družbe na vode je priporočljivo upoštevati občutljivost voda. Analize opravimo lahko na osnovi povprečnih obdobjnih specifičnih odtokov, še bolje pa je uporabiti nizke vrednosti specifičnega odtoka. Zato smo z uporabo GIS orodij združili rezultate dveh hidroloških raziskav: vodne bilance in pretočnih režimov. Z uporabo kriginga smo izvedli transformacijo točkovnih vrednosti pretočnih količnikov na prostor ter upoštevanjem karte povprečnega letnega specifičnega odтока izdelati raste dejanskih vrednosti povprečnih mesečnih ter minimalnega in maksimalnega povprečnega mesečnega specifičnega odтока iz Slovenije.

### KLJUČNE BESEDE

hidrologija, specifični odtok, pretočni režim, kriging, GIS

### ABSTRACT

#### **Use of GIS tools for Slovenia's average monthly specific runoff maps' making**

Water cycle research is the core of any water management. Water cycle consists of three basic elements: precipitation, evapotranspiration and runoff. In case of the analysis of the society's impact on waters the water vulnerability should be taken into consideration. These analyses can be based on average long term specific runoffs, even better is to use low runoffs. With the use of GIS tools we combined results of two hydrological researches: water balance and river flow regimes. Kriging was used to transform the point data of discharge coefficients to the space. Based on Slovenia's longterm average we used raster techniques to create the average monthly and minimum and maximum monthly average specific runoff rasters.

### KEY WORDS

hydrology, specific runoff, river flow regime, kriging, GIS

## 1 Uvod

Preučevanje elementov vodnega kroga pomeni osnovo za vsakršno načrtno upravljanje z vodami. Vodni krog tvorijo trije glavni elementi: padavine, izhlapevanje ter odtok. Odtok je torej eden od osnovnih elementov vodnega kroga in pomeni količino vode, ki odteče površinsko ali podzemno. Pretoki in bilančno izvedeni specifični odtok sta osnovni hidrološki informaciji o enem od glavnih elementov vodnega kroga. Za Slovenijo so bili v dolgoletnem obdobju izračunani letni specifični odtoki. Prva rastrska karta letnega specifičnega odtoka na ozemlju Slovenije je bila izdelana v analizi vodne bilance 1971–2000 (Kolbezen in Pristov 1998; Frantar 2002). Kart mesečnih specifičnih odtokov za Slovenijo ni izdelanih, čeprav so pomembne in uporabne, zlasti pri analizah obremenitev voda, saj količina vode v rekah sezonsko niha (Frantar in Hrvatinić 2005).

Geografski informacijski sistemi omogočajo raznovrstne analize fizičnogeografskih elementov pokrajine. Mednje sodijo tudi hidrološke analize. Na površinskih vodotokih se hidrološke parametre meri na vodomernih postajah, ki so v GIS-u opredeljene kot točkovni podatek na linijskem objektu, ki odraža stanje celotnega vodozbirnega zaledja – površinskega podatka oziroma poligona. Zato se praviloma ploskovne oziroma rastrske karte specifičnih odtokov računa po klimatski metodi z bilančno formulo (Frantar 2002), po kateri je odtok razlika med padavinami in izhlapevanjem. Vloga vodomernih postaj in podatkov o pretokih je v takih primerih pomembna za potrditev pravilnosti izračunov iz rastrov padavin in izhlapevanja. Podatki o pretokih torej služijo kot kontrolni podatek.

Pri izračunu mesečnih specifičnih odtokov v Sloveniji smo GIS orodje uporabili za združevanje točkovnih podatkov pretočnih količnikov na vodomernih postajah ter predhodno izdelanega rastra povprečnega specifičnega odtoka 1971–2000. Raster povprečnega letnega specifičnega odtoka v obdobju 1971–2000 na območju Slovenije je bil objavljen v Vodni bilanci 1971–2000 (ibid.). Točkovne podatke o pretokih smo uporabili na izbranih vodomernih postajah, kjer smo izračunali pretočne količnike, s pomočjo katerih smo za posamezen mesec obtežili raster povprečnega letnega specifičnega odtoka. Izdelali smo raste povprečnih mesečnih specifičnih odtokov ter minimalnih in maksimalnih povprečnih mesečnih specifičnih odtokov v Sloveniji.

## 2 Pojmi, namen in metodologija

Specifični odtok kaže količino vode, ki odteče v določenem časovnem intervalu z določenega ozemlja. Običajno je izražen v litrih na sekundo ali mm na leto, ki odtečejo v povprečju z enega kvadratnega kilometra (Mikoš s sodelavci 2002; Frantar 2002) in prikazuje vodnatost porečja (Špes s sodelavci 2002).

Obdobne povprečne letne količine specifičnega odtoka se večinoma računa na osnovi analiz obdobje vodne bilance. Tudi v Sloveniji je tako (Kolbezen in Pristov 1998; Frantar 2002). Vodna bilanca ocenjuje količine vode na določenem območju in časovnem obdobju (Ritter 2006).

Večji specifični odtok pomeni, da imajo vode večjo samočistilno sposobnost in so manj občutljive in obratno. Eden izmed glavnih dejavnikov, ki vplivajo na količino odtoka so padavine. Specifični odtok je tudi eden izmed glavnih kazalcev pri analizah ranljivosti okolja. Zelo pomemben pri okoljskih analizah je povprečni nizki letni pretok, kjer je potencialno obremenjevanje voda večje. Povprečni nizki pretoki pa so najboljši pokazatelji občutljivosti površinskih voda (Špes s sodelavci 2002).

Odtoki so po mesecih zelo neenakomerno razporejeni (Plut 2000), zato obremenitev voda ni skozi vse leto enaka. Pomembne so tudi mesečne količine odtoka, ki kažejo na bolj »realno« stanje količine vode in s tem na sezonsko drugačno občutljivost vodnega okolja. Ker so povprečni nizki pretoki v rekah (Špes s sodelavci 2002) zelo dober pokazatelj občutljivosti, lahko sklepamo, da so tudi povprečni najnižji mesečni specifični odtoki dober kazalec za povečano občutljivost površinskih voda. To velja zlasti v mesecih pomanjkanja vode in so boljši kazalec občutljivosti na vodne količine kot povprečni letni specifični odtok.

Povprečne mesečne količine vode v vodotokih obravnavajo različne analize pretočnih režimov. V Sloveniji jih je bilo izdelanih že kar nekaj, žal pa so bile vse usmerjene na točkovne analize, na lokacijah vodomernih postaj. Pretočni režim je pokazatelj povprečnega kolebanja pretoka reke prek leta. Dejavniki, ki oblikujejo pretočni režim so različni, med pomembnejšimi so: podnebje, relief, kamninska podlaga, prst, rastlinstvo in človek. V Sloveniji je najpomembnejši dejavnik podnebje, saj so pretočni režimi odvisni predvsem od letne razporeditve padavin, izhlapevanja, temperatur ter trajanja snežne odeje (Hrvatini 1998; Frantar in Hrvatini 2005). Pretočni režim smo vzeli za osnovni dejavnik, na podlagi katerega smo izračunali povprečne mesečne specifične pretoke. Mesečni pretočni količniki so dobra osnova za analize mesečnih specifičnih odtokov. Pretočni količniki so namreč razmerje med mesečnimi in letnimi pretoki, iz česar sklepamo tudi na razmerje med mesečnimi in letnimi specifičnimi odtoki.

Rastrskih kart mesečnih specifičnih odtokov v Sloveniji ni, zato smo se odločili, da jih izdelamo z združevanjem rastra letnega specifičnega odtoka ter mesečnih pretočnih količnikov. Tovrstne karte omogočajo vpogled v količino mesečnega internega odtoka s površine. Interne količine vode pa nam lahko z nadaljnjimi analizami povedo tudi na primer koliko vode je na razpolago na prebivalca (Plut 2000).

### 3 Analiza pretočnih količnikov na vodomernih postajah

V Sloveniji je doslej delovalo prek 700 vodomernih postaj. V obdobju 1971–2000 smo pregledali prek 160 vodomernih postaj s podatki. Manjkajoče podatkovne nize vodomernih postaj smo dopolnili z uporabo linearne korelacije, na osnovi najprimernejše vodomerne postaje, ki je delovala v manjkajočem obdobju in je imela dovolj dober korelacijski količnik in stopnjo zaupanja.

Na osnovi celotnih podatkovnih mesečnih nizov podatkov o pretokih na vodomernih postajah obdobja 1971–2000 smo izračunali mesečne pretočne količnike, izbrani pa so bili tudi najmanjši ter največji povprečni mesečni pretočni količniki v letu. Dobili smo 14 spremenljivk.

Na 166 vodomernih postajah smo izvedli analizo primernosti in ustreznosti njihovih podatkov. Ker specifični odtok odraža značilnosti lokalnega območja, smo iz nabora izločili vodomerne postaje na vodotokih, ki zgolj prečkajo ozemlje Slovenije in vodomerne postaje, na katerih je pri opravljenih testnih analizah, prihajalo do večjih odstopanj od hidroloških značilnosti postaj bližnje okolice. Večja odstopanja teh količnikov od tistih na okoliških vodomernih postajah jasno kažejo na veliko verjetnost napake v podatkih oziroma na prisoten umetni vpliv na pretočni režim (Kolbezen in Pristov 1998; Frantar 2002).

Po strokovni presoji vodomernih postaj smo izločili postaje s prevelikim zaledjem, kjer je vpliv celotnega porečja prevelik in pretok na postaji ne izkazuje lokalnih značilnosti. Izločena je bila na primer vodomerna postaja na Savi v Čatežu, saj pretoki na njej odražajo odtočne razmere v celotnem porečju, z vsemi pritoki, kot so Ljubljanica, Kamniška Bistrica, Savinja, Krka in druge reke. Ohranili smo 120 vodomernih postaj, ki so bile uporabljene pri nadaljnjih analizah.

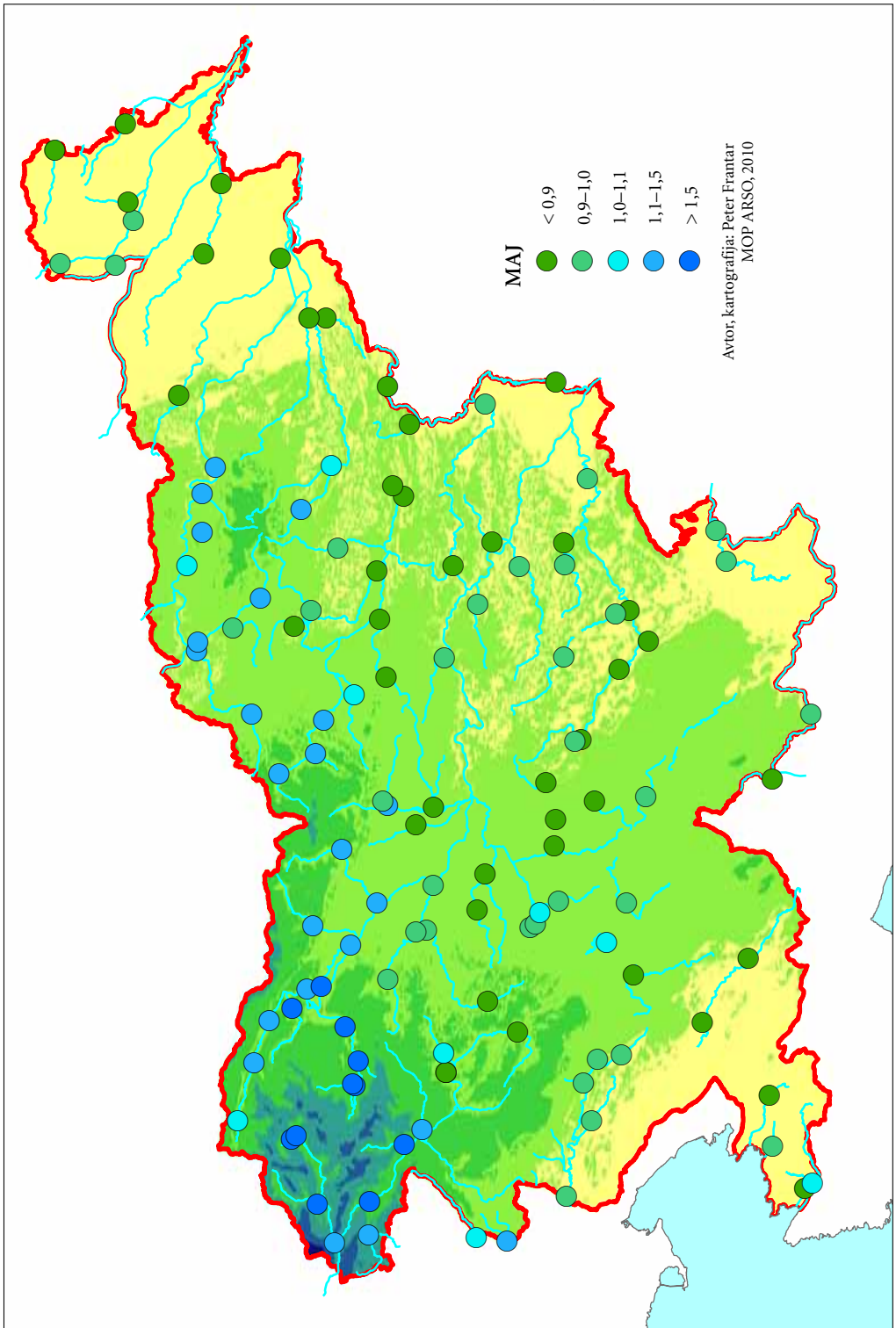
### 4 Izdelava rastrov povprečnih pretočnih količnikov

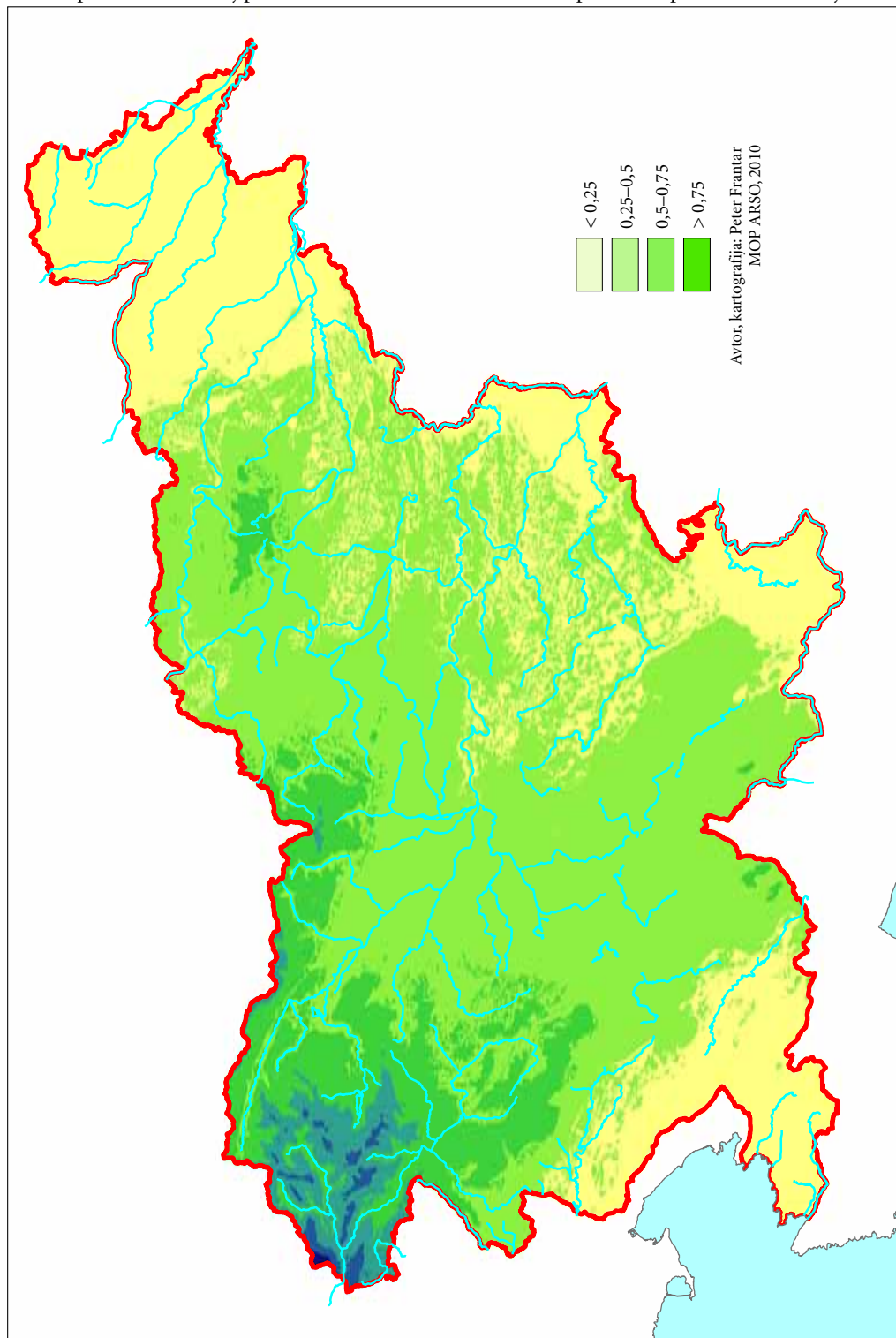
Za izdelavo rastra mesečnega specifičnega odtoka smo morali najprej narediti raster povprečnih pretočnih količnikov, s katerim smo v GIS orodju pomnožili osnovni raster povprečnega letnega specifičnega odtoka obdobja 1971–2000.

Izdelava rastra količnikov je temeljila na prostorski interpolaciji, ob predpostavki, da je prostorska porazdelitev modeliranih spremenljivk zvezna oziroma vsaj delno zvezna (de Smith s sodelavci 2009).

*Slika 1: Pretočni količniki izbranih vodomernih postaj v maju. ► (str. 166)*

*Slika 2: Razporeditev vrednosti minimalnega mesečnega pretočnega količnika v Sloveniji. ► (str. 167)*







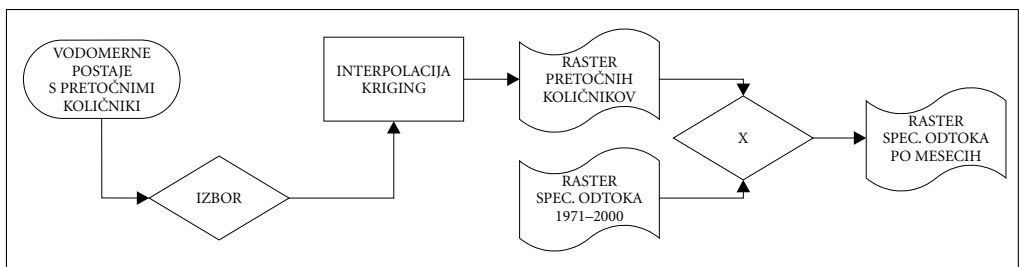
Interpolacija točkovnih vektorskih podatkov je geostatistična tehnika, ki interpolira vrednosti naključnega polja, spremenljivke, v našem primeru pretočnih količnikov, na neopazovano lokacijo prek vrednosti opazovanih točk v okolici te lokacije (medmrežje 1; medmrežje 3; de Smith s sodelavci 2009; ESRI 2007). Je metoda, po kateri ocenimo vrednost polja na osnovi omejenega števila vzorčnih točk (de Smith s sodelavci 2009). Ena izmed metod prostorske interpolacije je tudi kriging.

Metoda kriginga daje dobre rezultate pri modeliranju prostora z manj kot 250 točkami (de Smith s sodelavci 2009) in upošteva prostorsko avtokorelacijo spremenljivke (Zagmajster s sodelavci 2008). Poznamo več vrst kriginga, v našem primeru pa smo interpolacijo izvedli s pomočjo univerzalnega, z linearnim zamikom (driftom) na osnovi 12 točk. Univerzalni kriging je bil izbran že pri izdelavi osnovnih bilančnih elementov, padavin in izhlapevanja, na osnovi katerih smo pridobili vrednosti povprečnega letnega specifičnega odtoka (Frantar 2002). Kriging je bil tudi že potrjen kot ena boljših metod za interpolacijo padavin (Kastelec in Košmelj 2002). Modeliranje lokalnih povprečnih vrednosti temelji na lokalnem linearnem trendu povezanosti med spremenljivkami (de Smith s sodelavci 2009; ESRI 2007). Linearni zamik smo uporabili, ker so bili glavni dejavniki vpliva na specifični odtok upoštevani že pri izdelavi rastra padavin ter izhlapevanja, ki sta osnova za izdelavo rastra povprečnega letnega specifičnega odtoka in je zato porazdelitev med točkami v krigingu lahko enostavno linearna. Upoštevanje so lokalne, »interne« značilnosti pokrajine (medmrežje 2).

Na osnovi 120 izbranih vodomernih postaj smo za vsakega izmed 12 mesecev ter za oba ekstrema (minimum in maksimum) izvedli interpolacijo točkovnih podatkov na rastrsko površino.

## 5 Izdelava rastrov povprečnega mesečnega specifičnega odtoka

Raster povprečnega mesečnega specifičnega odtoka je bil izračunan s kvantitativno metodo množenja dveh rastrov: rastra povprečnega letnega specifičnega odtoka 1971–2000 (hQ) in rastra pretočnega količnika. Na osnovi 12 spremenljivk smo tako dobili povprečne mesečne specifične odtoke, na osnovi dveh ekstremov pa minimalni in maksimalni povprečni mesečni specifični odtok, ne glede na mesec pojava.

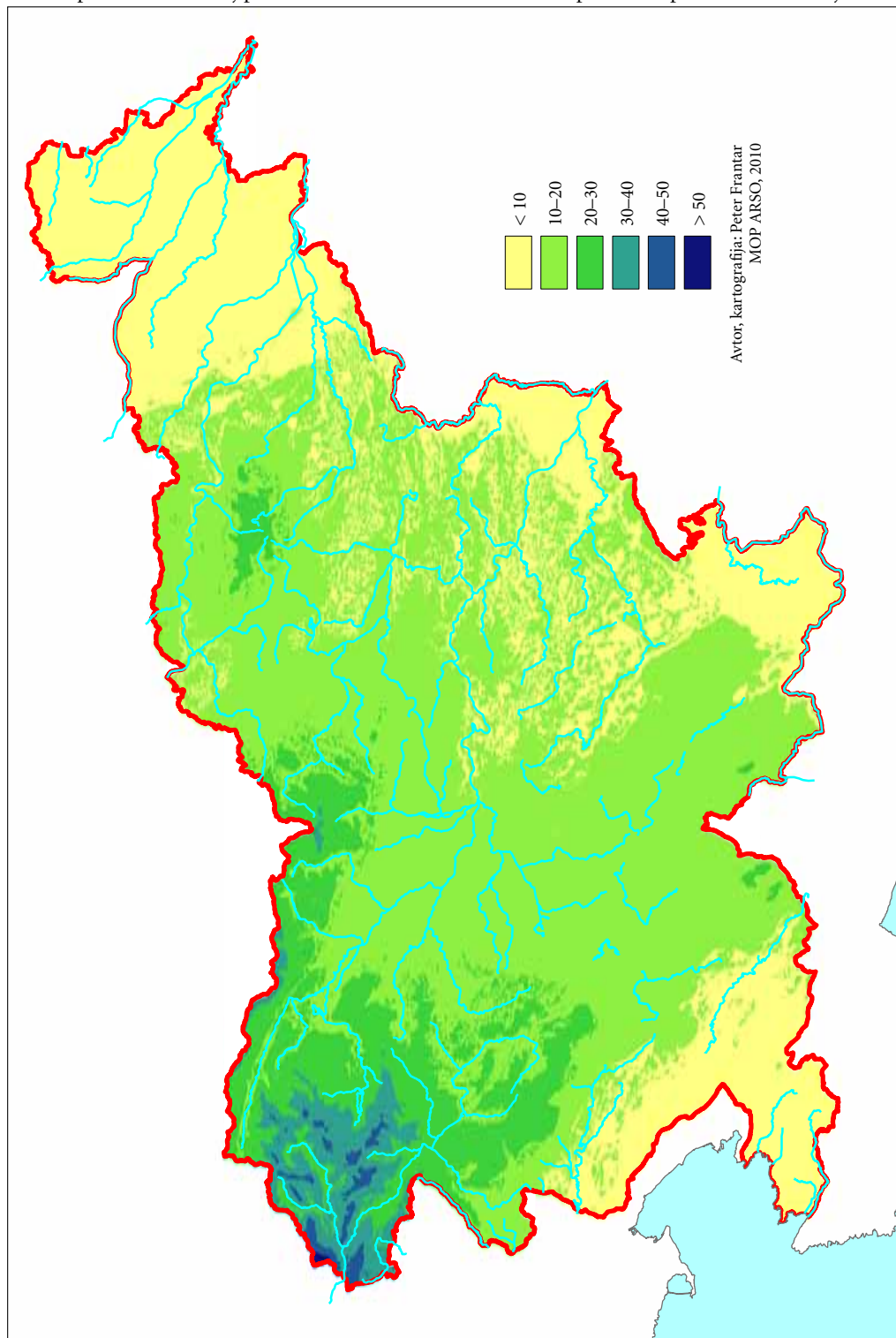


Slika 3: Poenostavljena shema postopka analize mesečnih specifičnih odtokov v Sloveniji.

## 6 Sklep

Analiza povprečnih mesečnih specifičnih odtokov na osnovi mesečnih pretočnih količnikov v Sloveniji še ni bila izvedena. Z uporabo kombiniranja dveh hidrološko statističnih prostorskih analiz smo prišli do novih uporabnih hidroloških podatkov. Z GIS orodji in hidrološko količinsko analizo smo

Slika 4: Razporeditev minimalnega povprečnega mesečnega specifičnega odtoka v Sloveniji v litrih na sekundo na kvadratni kilometer. ►



pridobili novo informacijo na osnovi dveh že uveljavljenih analiz: obstoječega podatkovnega sloja povprečnega letnega specifičnega odtoka 1971–2000 ter analize pretočnih količnikov na lokacijah vodomernih postaj.

Hidrološki rezultati (rasterske karte) po opravljeni analizi so po našem strokovnem mnenju dobri in uporabni in ustrezno odražajo rezultate dosedanjih točkovnih analiz pretočnih režimov v rastrih specifičnega odtoka. Podajajo novo konkretno informacijo o tem, kakšna je razporeditev specifičnega odtoka po mesecih. V Sloveniji interni odtok ni enak skozi vse leto. Zlasti za vodne in obvodne ekosisteme so pomembna sezonska nihanja, ki so sedaj prostorsko predstavljava po vsej Sloveniji. Nadgrajena je informacija povprečne letne vrednosti s povprečnimi mesečnimi vrednostmi. Doslej so bile sezonska nihanja pretokov vodotokov zelo znana, a zgolj na točkah meritev površinskih voda. Z dopolnitvijo nizov manjkajočih podatkov in z uporabo prostorske interpolacije – kriginga točkovnih podatkov v raster, pa smo dobili vrednosti mesečnih specifičnih odtokov ter ekstremnih specifičnih odtokov za katerokoli točko v Sloveniji.

## 7 Viri in literatura

- de Smith, M. J., Goodchild, M. F., Longley, P. A. 2009: Geospatial Analysis – a comprehensive guide. Splint – Spatial Literacy in Teaching, Matador, Leicester. Medmrežje: <http://www.spatialanalysisonline.com/> (5. 2. 2010).
- Frantar, P. 2008: Vodna bilanca Slovenije 1971–2000. MOP-ARSO. Ljubljana.
- Frantar, P., Hrvatina, M. 2005: Pretočni režimi v Sloveniji med letoma 1971–2000. Geografski vestnik 77-2. Ljubljana.
- Hrvatina, M. 1998: Pretočni režimi v Sloveniji. Geografski zbornik 38. Ljubljana. Medmrežje 1: <http://www.ems-i.com/gmshelp/Interpolation/interpolation.htm> (4. 2. 2010). Medmrežje 2: [http://www.corecentre.co.in/Database/Docs/DocFiles/lowa\\_water.pdf](http://www.corecentre.co.in/Database/Docs/DocFiles/lowa_water.pdf) (4. 2. 2010).
- Kastelec, D., Košmelj, K. 2002: Spatial Interpolation of Mean Yearly Precipitation using Universal Kriging. Developments in Statistics. Metodološki zvezki 17. Ljubljana.
- Kolbezen, M., Pristov, J. 1998: Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije. Ljubljana.
- Mikoš, M., Kranjc, A., Maticič, B., Müller, J., Rakovec, J., Roš, M., Brilly, M. 2002. Hidrološko izrazje. Acta Hydrotechnica 20-32. Ljubljana.
- Plut, D. 2000: Geografija vodnih virov. Ljubljana.
- Ritter, M. 2006: The Water Balance. Medmrežje: <http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/geog101/textbook/hydrosphere> (23. 1. 2006).
- Špes, M., Cigale, D., Lampič, B., Natek, K., Plut, D., Smrekar, A. 2002: Študija ranljivosti okolja: metodologija in aplikacija. Geographica Slovenica 35, 1–2. Ljubljana.
- Zagmajster, M., Sket, B., Culver, D. C. 2008: Prikaz razporeditve vrstne pestrosti podzemeljskih hroščev z uporabo interpolacijskih metod. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008. Ljubljana. Medmrežje 3: <http://en.wikipedia.org/wiki/Kriging> (4. 2. 2010).
- ESRI 2007: ArcGIS Desktop Help 9.2. Environmental Systems Research Institute, Inc. Medmrežje: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=welcome> (5. 2. 2010).

## PROSTORSKO OVREDNOTENJE GEOKEMIČNIH PODATKOV V PODTALNICI NA INDUSTRIJSKEM OBMOČJU ŠALEŠKE DOLINE

**dr. Marta Veder**

Visoka šola za varstvo okolja  
marta.veder@gmail.com

**dr. Natalija Špeh**

Visoka šola za varstvo okolja  
natalija.speh@guest.arnes.si

**dr. Salvatore Giammanco**

Sezione di Catania, Istituto Nazionale  
di Geofisica e Vulcanologia, Italija  
giammanco@ct.ingv.it

**Barbara Justin**

ERICo Velenje  
barbara.justin@erico.si

UDK: 556.314(497.4Šaleška dolina)  
502.51:504.5(497.4Šaleška dolina)

### IZVLEČEK

**Prostorsko ovrednotenje geokemičnih podatkov v podtalnici na industrijskem območju Šaleške doline**  
Na industrijskem območju Šaleške doline je bila opravljena geokemična študija podtalnice za ugotavljanje stanja onesnaženosti naravne vode. Na devetnajstih raziskovalnih mestih so bile v vodnih vzorcih opravljene kemijske analize glavnih (Ca, Mg, Na, K,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) in slednih prvin (As, Cd, Cu, Pb, Zn, Hg, Se, V). S statistično metodo glavnih komponent (PCA) smo izločili sedem vplivnih faktorjev, ki opisujejo: interakcijo vode s kamnino, redoks potencial, povišanje Cd in Zn v vodi, bogati s Cl, hidrotermalne pogoje, onesnaženje s Pb in Cu, obogatitev z V in K in raztopljene pline v vodi. Pridobljene podatke smo obravnavali prostorsko in s tem omogočili povezovanje z drugimi podatkovnimi zbirkami, kar omogoča celovitejšo pojasnitev. Orodja geografskega informacijskega sistema so pomagala pri združevanju podatkov o geokemiji, hidrologiji, geologiji ter vrednotenju vplivov na okolje obravnavanega območja. Z GIS-om so bile oblikovane »pametne« tematske karte, ki omogočajo boljše osvetliti odnose med posameznimi vplivi in ločevati naravne in umetne doprinose.

### KLJUČNE BESEDE

geokemija, podtalnica, težke kovine, prostorska analiza, Šaleška dolina

### ABSTRACT

**Spatial evaluation of geochemical data in groundwater in the industrial Šalek Valley area (Slovenia)**  
In the industrial area of the Šalek Valley (Slovenia) a geochemical study of the groundwater interactions between natural and anthropogenic fluids was carried out. The concentrations of major (Ca, Mg, Na, K,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) and trace elements (As, Cd, Cu, Pb, Zn, Hg, Se, V) were determined. The Principal Component Analysis allowed extraction of seven factors, which are: water-rock interaction; redox conditions of water, Cd–Zn enrichment in Cl-rich waters, local hydrothermal conditions, Pb and Cu pollution, V and K enrichments, and the role of partial pressure of dissolved gases in water. Results were processed also spatial to enable more complete interpretation. The Geographic Information System (GIS) tools linked geochemical, hydrological, geological and human activities data. Using the GIS, »intelligent« thematic maps were produced to better highlight the relations among all parameters and to better study the sources of natural and anthropogenic pollutants in the study area.

### KEY WORDS

geochemistry, groundwater, heavy metals, spatial analysis, the Šalek Valley

## 1 Uvod

Glavni vir vode v plitvi podtalnici so praviloma padavine, delno se njihovi vodonosniki napajajo tudi z vodo iz globljih delov skorje – hidrotermalno vodo. Geokemična sestava vode v podtalnici se spreminja s prostorom in s časom. K povečanju raztopljenih snovi v podtalnici v zadnjem času vedno bolj prispeva onesnaževanje okolja na površju kot posledica človekove dejavnosti.

Zaradi intenzivne industrijske dejavnosti v zadnjih 60-tih letih je do nedavnega pripadala Šaleška dolina okoljsko najbolj obremenjenim območjem v Sloveniji. Šaleška dolina leži v severnem delu srednje Slovenije. Ozemlje Šaleške doline in njeno obrobje je naslonjeno na skrajne odrastke Savinjskih Alp in predgorja Karavank. Relief obrobja doline je močno razgiban. Jedro Šaleške doline tvori sedimentna kadunja z reko Pako, ki je tudi glavna odvodnica doline (Špeh 2000, 33).

Premogovnik Velenje je pomembno zaznamoval industrijski razvoj doline. Sredi petdesetih let preteklega stoletja se je pričela gradnja termoelektrarne v Šoštanju in pospešila razvoj tudi drugih industrijskih dejavnosti v dolini. Poleg pomembnega družbeno-ekonomskega vpliva je premogovnik s svojo dejavnostjo podzemnega pridobivanja lignita vplival tudi na degradacijo površja okolja in spremembo hidrografskih razmer v Šaleški dolini.

Termoelektrarna Šoštanj (TEŠ) je energetski objekt z največjimi izpusti škodljivih snovi v zrak v Sloveniji. Iz podatkov lokalnega katastra (Ramšak 1991, 19) je razvidno, da znaša izpust TEŠ-a kar 99 % vseh izpustov SO<sub>2</sub> in 96 % izpustov NO<sub>x</sub> v Šaleški dolini. V letu 1990 je izpust žveplovega dioksida iz TEŠ-a znašal 93.000 ton na leto. Leta 1994 je bila postavljena v TEŠ-u čistilna naprava, ki je znižala izpuste žvepla za polovico. Današnji učinek razžvepvalnih naprav znaša manj kot 5 % izpustov v primerjavi z najbolj onesnaženim letom 1983, ko je bilo izpuščeno 124.000 ton SO<sub>2</sub>. Kot pomembna škodljiva vpliva termoelektrarne na okolje lahko navedemo tudi pepel in odpadke, ki nastanejo pri odžvepljevanju dimnih plinov. Pepel, ki ostane po izgorevanju v termoelektrarni, odlagajo kot poseben odpadke na posebno urejeno odlagališče. Ker vsebuje pepel visoke vsebnosti mnogih prvin, sta lahko mobilizacija težkih kovin iz pepela zaradi izpiranja in vetrna erozija odlagališča pepela pomembna vpliva termoelektrarne na okolje. V okolici TEŠ-a je bilo v zadnjih petnajstih letih več geokemičnih raziskav okolja, ki so pokazale, da je vpliv elektrarne na lokalno okolje precejšen (Stropnik s sodelavci 1994, 81; Svetina Gros 1994, Svetina Gros s sodelavci 1996).

Cilj pričujoče geokemične raziskave je bil s pomočjo kemijske in statistične analize ugotoviti vpliv onesnaženja na podtalnico na industrijskem območju Šaleške doline. S prenosom dobljenih podatkov v geografski informacijski sistem (GIS) je raziskava pridobila možnost celovitejše razlage dejavnikov, ki vplivajo na stanje podtalnice.

## 2 Geološki in hidrološki opis ozemlja

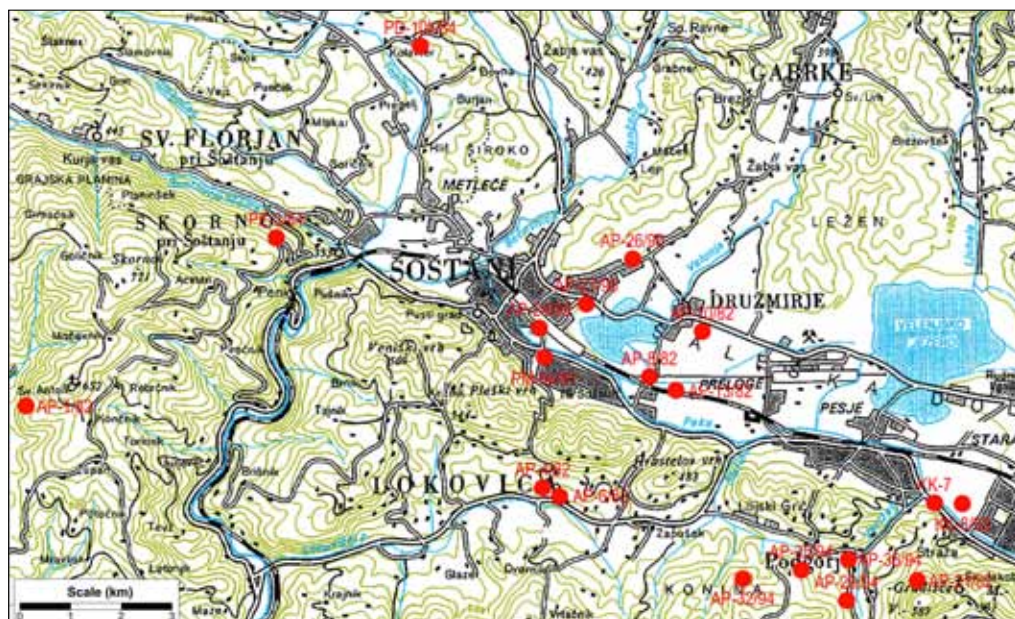
Šaleška dolina je geološko imenovana Velenjska udorina (Brezigar s sodelavci 1986, 50), ki je tektonskega nastanka. Proti koncu srednjega pliocena se je ozemlje začelo pogrezati predvsem vzdolž Šoštanskega preloma, ki se vleče v smeri severozahod–jugovzhod in ga sledimo od Šoštanja mimo Velenja do Vojnika. Severno od Šoštanskega preloma poteka skoraj v isti smeri Smrekovski prelom. V okolici Velenjske udorine poteka še več manjših prelomov, tudi prečno na Šoštanski in Smrekovski prelom. Dolgotrajno in počasno pogrezanje udorine ob prelomih z ugodnimi podnebnimi razmermi je bilo razlog, da se je nakopičila v teh sedimentih izredno debela plast premoga. Relativno počasnemu pogrezanju je sledilo hitrejšo pogrezanje, saj je nad premogovo plastjo okoli 450 m debela skladovnica pliocenskih sedimentov (Brezigar s sodelavci 1986, 51). Na območju Velenjske udorine razlikujemo glede na nastanek ozemlja dva tipa geološke zgradbe. Prvi tip je zgradba predpliocenske podlage, drugi pa zgradba pliokvartarne skladovnice sedimentov, ki zapolnjuje predpliocensko podlago. Podlago ožjega območja Velenjske udorine predstavljajo po Mioču in Žnidaršiču (1978) terciarne plasti. Veči-

na območja je iz laporaste morske glin, imenovane sivica, ter oligomiocenske smrekovške serije iz zelenih andezitov, andezitnih tufov in tufske glin. Na južnem robu udorine sta obe vrsti kamnin razviti tudi na površini. Na oligomiocenskih plasteh, drugje pa v inverzni legi pod njimi, ležijo spodnjemiocenski peščeni sljudnati laporji in peščenjaki ter srednjemiocenski morski lapor in litotamnijski apnenec. Ožje območje Velenjske udorine zapolnjuje pliokvartarna skladovnica, ki ima v vseh prerezih obliko sinklinale. Na območju Šoštanjanskega preloma je tektonsko prelomljena. Sestavljajo jo menjavajoče in prepletajoče se plasti glin, meljev, peskov, proda, glinavcev, meljevcev, laporjev, peščenjakov in konglomeratov. Med njimi je premogova plast, ki je v osrednjem delu sinklinale debela kar 165 m, na robovih udorine pa se izklini.

Regionalno je hidrološke razmere v Šaleški dolini prikazal Veselič (1985, 62), pri tem pa se je navezoval na regionalno geotektonsko členitev ozemlja po Brezigarju (1986, 52). Večji del Šaleške doline, zlasti pa njen plitvi centralni del, ki ga imenujemo Velenjska udorina, prekriva pliokvartarni sistem polprepustnih in neprepustnih vodonosnikov z medzrnsko poroznostjo. Pod njimi je vodonosnik v starejših kamninah, ki predstavlja samostojno vodno telo in je ločen od zgornjega vodonosnika (Ranzinger 2004). Obrobje Velenjske udorine, ki ga gradijo apnenci in dolomiti, sestavljajo razpoklinski, kraško razpoklinski in slabo prepustni razpoklinski vodonosniki. Raziskave so bile opravljene v plitvem pliokvartarnem vodonosniku, ki ima prepustnost od  $2,3$  do  $5,6 \times 10^{-7}$  m/s (Svetina Gros 1987, 39). Smer toka podtalnice je vzhod–zahod, kar ustreza toku reke Pake. Na severozahodnem obrobju doline, v Topolšici, je odtok vode v obliki hidrotermalnega vrelna, ki se napaja iz globljih vodonosnikov.

### 3 Vzorčevanje in kemijske analize

Na ožjem območju industrijskega območja Šaleške doline je bilo v plitvih vodnjakih odvzeto devetnajst vzorcev vode za kemijske preiskave glavnih in slednih prvin. Sedemnajst vodnjakov je bilo plitvih, z globino pod 90 m, dva vodnjaka pa sta bila globoka (PM-6k/81 globine 225 m, globina vode 46 m;



Slika 1: Lokacija vodnjakov na industrijskem območju Šaleške doline.

Preglednica 1: Rezultati fizikalno-kemijskih spremenljivk v podtalnic (X – aritmetična sredina, s – standardno odklon, LoD = meja zaznavnosti).

oznaka	As (µg/l)	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)	V (µg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Eh (redoks potencial) (kislota)	pH	prevodnost (µS/cm)	TDS (mg/l)
AP-13/82	<LoD	<LoD	3,0	<LoD	1275	<LoD	55,6	19,9	524,2	7,49	460	233,36
AP-6/82	<LoD	<LoD	18,0	13,9	574	<LoD	56,1	25,1	520,1	7,61	533	262,25
KK-8/93	0,6	1,4	3,6	<LoD	1090	<LoD	56,6	42,1	483,9	7,63	841	414,90
AP-21/82	<LoD	<LoD	2,5	<LoD	55	<LoD	44,8	21,5	504,9	7,47	749	287,64
AP-35/94	<LoD	<LoD	2,1	<LoD	84	<LoD	45,6	22,3	505,3	7,25	720	295,41
AP-36/94	0,9	<LoD	2,4	<LoD	38	<LoD	75,8	33,1	515	6,75	956	393,56
AP-10/82	<LoD	<LoD	4,0	<LoD	771	<LoD	48,9	12,4	504,1	7,66	525	204,27
AP-1/82	<LoD	2,5	3,5	<LoD	6309	<LoD	89,7	10,4	500,7	6,94	789	393,36
PM-6k/81	<LoD	<LoD	4,6	3,7	1019	<LoD	54,6	0,1	226,4	12,23	1487	285,06
AP-4/82	<LoD	<LoD	3,2	<LoD	430	<LoD	37,4	16,6	483,0	8,16	311	178,88
KK-7	<LoD	<LoD	16,7	<LoD	12,5	<LoD	64,1	42,1	525,1	6,90	960	354,96
AP-32/94	2,3	<LoD	7,7	<LoD	2	<LoD	45,9	14,9	505,3	7,36	477	293,86
AP-29/94	0,9	<LoD	5,6	<LoD	2	<LoD	51,7	27,8	506,2	7,52	587	331,83
AP-8/82	<LoD	<LoD	2,1	<LoD	198	<LoD	56,6	25,9	553,3	6,94	256	253,66
PD-10k/84	1,6	<LoD	2,8	<LoD	8	<LoD	3,4	0,1	391,0	9,62	217	218,10
AP-26/90	0,6	<LoD	1,6	<LoD	2	<LoD	25,9	10,5	467,1	6,44	277	132,75
AP-27/90	<LoD	2,5	2,3	1,6	6096	<LoD	11,1	3,2	582,2	5,85	157	83,80
AP-24/89	1,9	<LoD	1,3	<LoD	650	<LoD	32,5	87	493,7	7,40	297	168,06
PE-3/84	<LoD	<LoD	2,3	<LoD	993	<LoD	41,4	6,2	338,1	6,69	559	334,23
X	1,26	2,13	4,7	6,40	1032	-	47,2	18,1	480,51	7,57	587,26	269,52
s	0,54	0,65	4,7	3,11	1873	-	20,2	12,6	81,30	1,36	329,82	91,01
min	<LoD	<LoD	1,3	<LoD	2	-	3,4	0,1	226,4	5,85	157	83,80
max	2,3	2,5	18,0	13,9	6309	-	89,7	42,1	582,2	12,23	1487	414,90
LoD	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,01	0,01	-	-	-	-

PE-3/84 globine 320 m, globina vode 10 m). Vzorčevanje je bilo opravljeno junija 2005 v piezometrih na odkopnem območju Premogovnika Velenje.

Koncentracije As, Cd, Cu, Pb, Se, V in Zn so bile določene z metodo ICP-MS, Hg pa je bil določen s hladno pretočno metodo z uporabo tehnike FIAS AAS. Sulfat in klorid sta bila določena z ionsko kromatografijo, Ca, K, Hg in Na pa s plamensko emisijsko fotometrijo (FAAS). Podrobneje je postopke vzorčevanja in kemijskih postopkov opisala Svetina Gros drugje (1994, 162). Rezultati kemijskih analiz so v Preglednici 1.

## 4 Rezultati in diskusija

Na podlagi izsledkov meritev in glavnih kemijskih komponent v vzorcih podtalnice na industrijskem območju Šaleške doline smo oblikovali sledeče ugotovitve:

- 1. voda je hladna do hipotermalna s temperaturo od 9,8 do 18,4 °C (povprečje 12,8 °C),
- 2. rahlo kislila do precej bazična s pH vrednostjo od 5,85 do 12,23 (povprečje pH je 7,57),
- 3. z redoks potencialom od rahlo do zelo oksidacijskega (Eh od 226 do 582 mV) in
- 4. z nizko skupno trdoto (TDS) od 83,8 do 414,9 mg/l (Giammanco in sodelavci 2009, 78).

Od povprečja odstopa vodnjak PM-6k/81, ki ima izvor v globljem vodonosniku. V njem je kislost (pH) in električne prevodnosti vode višja in ima nižji redoks potencial (Eh). Podobno, vendar manj izrazito je odstopanje v vodnjaku PD-10k/84. V kemijski analizi slednih prvin sta bila Hg in Se pod mejo zaznavnosti analitskega postopka (0,5 µg/l). As je bil določen v 40 %, v ostalih vzorcih je bil pod mejo zaznavnosti (0,5 µg/l). As je bil v raziskanih vodnjakih v obsegu od 0,5 do 2,3 µg/l, kar je znatno pod priporočeno WHO vrednostjo (10 µg/l). Določljivost Cd je bila izredno nizka, saj je bilo nad mejo zaznavnosti (0,5 µg/l) le 16 % podatkov. Koncentracije Cd so v razponu od 0,5 in 2,5 µg/l, kar je pod priporočeno vrednostjo WHO, ki je 3 µg/l. Cu je v podtalnici med 1,3 do 18 µg/l, kar je znatno pod priporočilom WHO (2 mg/l). Pb je bil določen le v 16,5 % vzorcev, njegove koncentracije so nizke in so v obsegu od 0,5 do 13,9 µg/l. Koncentracije Zn so v razponu od 2 do 6309 µg/l, kar v povprečju presega WHO priporočeno vrednost, ki je 1 mg/l. Vanadij (V) je bil zaznan le v 21 % vzorcev, njegov obseg je od 0,5 do 0,9 µg/l. V je znatno pod mejnimi vrednostmi WHO (200 µg/l).

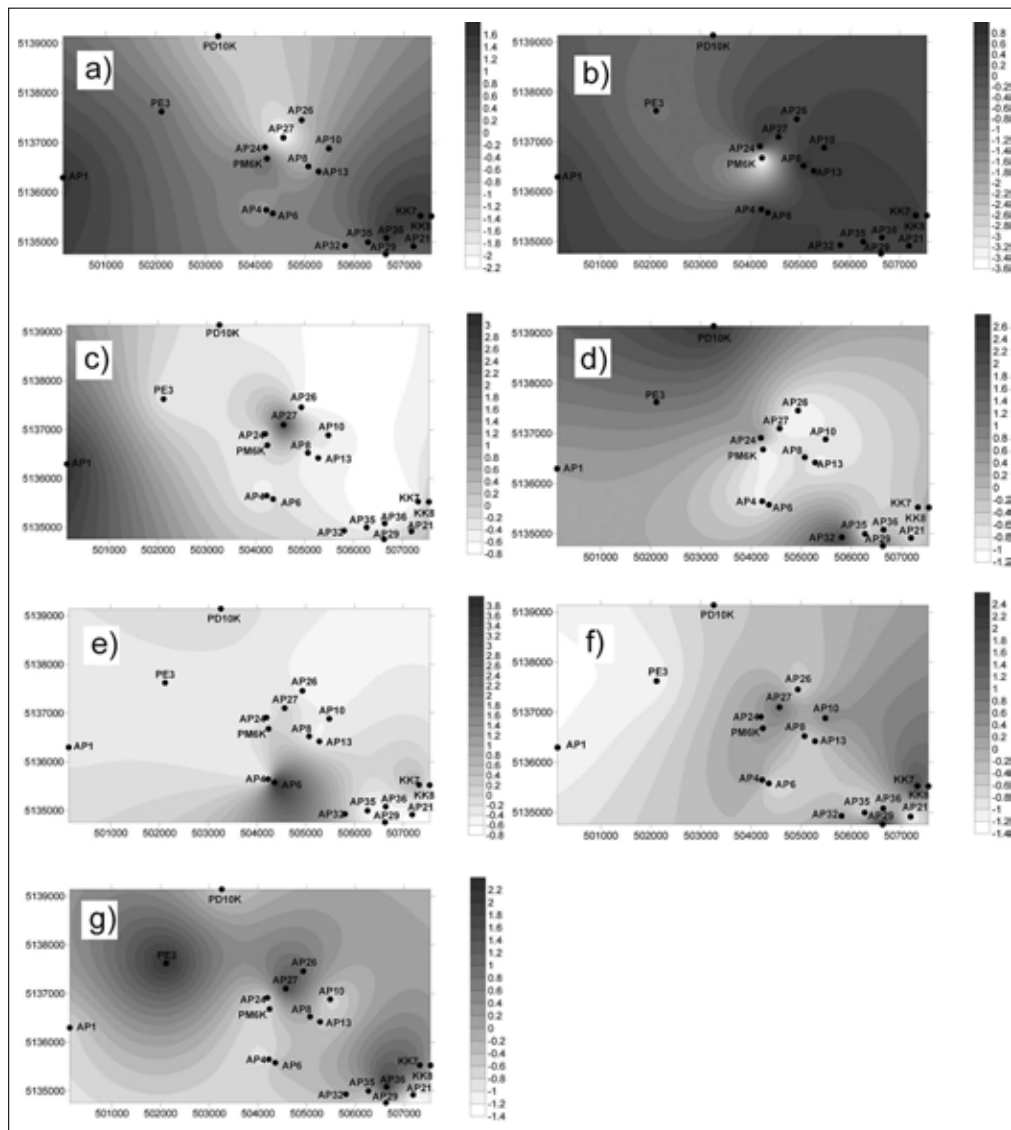
Podatki so bili ovrednoteni z opisno statistiko, ki je bila določena s programom Statistica (Statsoft, Inc., USA). Namen opisne statistike je bil oceniti srednjo vrednost, ki je izražena z aritmetično sredino in razširjanje opazovanj okoli srednje vrednosti, ki je izraženo s standardnim odklonom. Poleg tega so bile določene tudi najmanjše in najvišje vrednosti podatkov. Parametri osnovne statistike so v Preglednici 1. V statistični metodi glavnih komponent – PCA (Davis 1963) smo upoštevali osemnajst določenih geokemičnih spremenljivk v podtalnici: temperaturo, redoks potencial, kislost, pCO<sub>2</sub> ter glavne in sledne prvine (brez Hg in Se). Določitve pod mejo zaznavnosti so bile upoštewane z vrednostjo meje zaznavnosti. Z metodo PCA smo izločili sedem neodvisnih faktorjev, ki pojasnjujejo 85,8 % celotne variance. Prvi faktor pojasnjuje 20,97 % variance in je povezan s koncentracijo Ca, Mg, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> in prevodnostjo vode. Predvidevamo njegovo povezanost z raztapljanjem dolomita ali interakcijo vode s kamnino. Drugi faktor pojasnjuje 18,23 % celotne variance in ponazarja negativno povezavo temperature in redoks potenciala s kislostjo, K in električno prevodnostjo. Povezan je z oksidacijskim stanjem vode in nakazuje možnost interakcije hidrotermalne vode s kamnino. Tretji faktor pojasnjuje 16,27 % skupne variance ter je povezan s povišanjem Cd in Zn v vodi, bogati s kloridom. Ta faktor povezuje mo z industrijsko dejavnostjo in industrijskim onesnaženjem. Pomemben vir teh prvin je izogorevanje premoga (Callender 2003, 69). Možno bi ga bilo povezati tudi z geotermalnim dotokom vode, kajti Cd in Zn sta običajni sestavini v sulfidnih rudnih usedlinah (Rose s sodelavci 1991; Adriano 1996), ki s klorom tvorijo tipično združbo v hidrotermalni raztopini (Sriwana s sodelavci 1998, 161). Četrty faktor pojasnjuje 10,24 % celotne variance in je povezan z visokimi koncentracijami As, Na, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> in temperaturo vode. Predvidevamo njegovo neposredno povezanost s hidrotermalno dejavnostjo, saj je



zdržba teh prvin značilna za termalne vode, ki so bogate s sulfatom (Nicholson 1993; Aiuppa s sodelavci 2003, 1827). Peti faktor pojasnjuje 7,59 % celotne variance in je povezan s povišanimi vrednostmi Cu in Pb. Ta faktor povezujemo z antropogenim vnosom teh dveh prvin v okolje Šaleške doline zaradi izgorevanja premoga (Callender 2003). Vsekakor ne smemo zanemariti možnosti doprinosa teh dveh prvin tudi iz sulfidnih rud, kajti na območju Šoštanja je izdanek teh rudnih sedimentov (Mioč 1978). Šesti faktor ponazarja 6,43 % celotne variance in je povezan z visokimi koncentracijami V in K. Obe prvini imata močno povezavo z organsko snovjo, predvsem pa V (Hawkes in Webb 1962), zato ta faktor predstavlja povezavo podtalnice s hidrokarbonati ali drugimi snovmi, ki so posledica razgradnje organske snovi. To je lahko bodisi lignitna plast ali pa K gnojila, ki se uporabljajo v kmetijstvu. Sedmi faktor pojasnjuje 6,07 % celotne variance in je povezan predvsem z raztopljenimi plini in delno s pH. Ti dve spremenljivki sta v negativni korelaciji in ponazarjata intenzivnost kemijskega odnosa med vodo in raztopljenimi plini, kar posledično znižuje pH vode. Ta faktor predstavlja količino raztopljenih plinov v vodi.

Krigiranje je eden najbolj zanesljivih načinov za izdelavo prostorskih zemljevidov na osnovi točkovnih podatkov. V geokemiji se uporablja vrsta različnih metod krigiranja, katere večinoma temeljijo na metodi interpolacije prostorske spremenljivke (Houlding 1994, 162). Prostorska spremenljivka je odnos med opazovanji in dejansko vrednostjo. Kot mera spreminjanja prostorske spremenljivke v določeni smeri se uporablja semivariogram. Univerzalno krigiranje je najbolj izpopolnjena metoda interpolacije, ker upošteva tudi prostorsko spreminjanje spremenljivke (Wackernagel 1995, 177). V tej raziskavi smo za izdelavo zemljevidov prostorskih predstavitev spremenljivk uporabljali računalniški program Surfer for Windows (verzija 6.04). Uporabljena je bila metoda univerzalnega krigiranja z linearnim variogramom in linearnim driftom. V postopku interpolacije podatkov se bile uporabljene devetnajst lokacij vodnjakov na industrijskem območju Šaleške doline. Vrednosti so bile interpretirane v osnovni celici 250 × 250 m. Na posamezno vrednost v mreži so vplivale vse eksperimentalno določene vrednosti v kvadratnem razporedu na razdalji do petih kilometrov. Z namenom ovrednotenja različnih vplivov na podtalnico smo prostorsko predstavili faktorje vpliva na sliki 2a–g. Koordinate vodnjakov so izražene v UTM-WGS84 načinu.

S prostorsko statistično analizo geokemičnih spremenljivk v podtalnici na industrijskem območju Šaleške doline so bili oblikovani zemljevidi vplivnih faktorjev, ki omogočajo bolj razložitveno odnos med posameznimi vplivi in ločiti naravni doprinos snovi od umetnega. Prostorska predstavitev prvega faktorja (slika 2a) razkriva precej homogeno porazdelitev na raziskanem območju, kar pomeni, da je proces raztapljanja dolomitnega vodonosnika prisoten na celotnem ozemlju in imajo te raztopine lokalni izvor. Povišan vpliv prvega faktorja je prisoten na skrajnih vzhodnem in zahodnem robu raziskanega območja, na območjih kjer izdajajo dolomiti. Najnižje vrednosti tega faktorja so na osrednjem delu zemljevida, v vodnjakih AP-27/90 in PD-10k/84. Zemljevid drugega faktorja (slika 2b), ki ponazarja vpliv redoks potenciala, ima podobno prostorsko porazdelitev kot prvi faktor. Njegova vrednost je najnižja v najglobljem vodnjaku (PM-6k/81). To potrjuje posebne fizikalno-kemijske lastnosti vode v tem vodnjaku, ki ni povezana z vodo v drugih vodnjakih. Zemljevid tretjega faktorja (slika 2c), ki predstavlja vpliv Cd in Zn, združen s prisotnostjo klorida, izrazito izstopa z visoko vrednostjo v vodnjakih AP-27/90 in AP-1/82. Za to območje je značilna dolomitna sestava vodonosnika, ki omogoča medsebojno kemijsko delovanje dolomita in podtalnice in verjetno tudi hidrotermalne vode, bogate s kloridom ali sulfatom. Ta faktor nakazuje tudi vpliv s paro bogatih hidrotermalnih voda. Podobna genaza velja tudi za vodo v vodnjakih, kjer je povišan četrti faktor (slika 2d). Četrti faktor je najvišji v vrtinah blizu termalnega izvira Topolšica in vzdolž Šoštanjskega preloma (PD-10k/84, AP-32/94, PE-3/84 in AP-1/82). Vsi ti vodnjaki, razen PE-3/84, so tik ob prelomni coni, kar zaradi zdobljenosti kamnin in večje prepustnosti omogoča hidrotermalno povezavo med globokimi vodonosniki z višje ležečimi. Prostorska porazdelitev petega faktorja (slika 2e) je verjetno povezana z vplivom Pb in Cu onesnaženja zaradi izgorevanja premoga. Peti faktor je najvišji v vodnjaku AP-6/86, ki je najbližje Termoelektrarni Šoštanj, poleg tega so povišane vrednosti tudi v drugih vodnjakih v njeni okolici. Ta faktor je značilno



Slika 2: Prostorske porazdelitve sedmih faktorjev vpliva, določenih s faktorjsko analizo fizikalno-kemijskih podatkov podtalnice v 19 vodnjakih.

povišan tudi v vodnjakih PD-0k/84 in AP-32/94. Ne smemo prezreti, da je vodnjak AP-32/94 tik ob Šoštanjskem prelomu, kar omogoča tudi naravni hidrotermalni vpliv zaradi Pb in Cu rud v globini. Prostorska porazdelitev šestega faktorja (slika 2f), ki predstavlja povečane koncentracije V in K, ni homogena, saj so njegove visoke vrednosti raztresene po celotnem preiskanem območju, najnižje pa so na skrajnem vzhodnem delu zemljevida, kjer je najgostejša naseljenost. To pojasnjuje antropogeni vpliv tega faktorja, ki je posledica kmetijske dejavnosti. Prostorska porazdelitev sedmega faktorja (slika 2g), ki predstavlja raztopljenе pline v vodi, prikazuje izredno visoke vrednosti v treh vodnjakih: PE-3/84,

AP-27/90 in AP-36/94. V vodnjaku PE-3/84 so bili mehurčki opazni že pri vzorčevanju vode. To so vode, ki se mešajo s plini iz premogovega ležišča, v manjši meri pa nakazujejo na prisotnost hidrotermalnega ogljikovega dioksida.

## 5 Sklep

Rezultati geokemične raziskave plitve podtalnice v Šaleški dolini so delno pojasnili prepletenost razmer v okolju z naravnimi in umetnimi viri onesnaženja. Največji prispevek k kakovostnemu stanju voda v podtalnici prispevajo naravni viri, predvsem lokalni dolomitni vodonosniki. Drugi pomemben naravni vir vode so hidrotermalni dotoki iz globine. Onesnaženje s površja raziskanega območja prihaja v vodo kot posledica izgorevanja premoga in delno zaradi kmetovanja.

Raziskave geokemičnega stanja okolja, kot je pričujoča, omogočajo boljše poznavanje lokalnega stanja, in bistveno doprinešajo k širšemu razumevanju osnovnih geokemičnih lastnosti okolja, predvsem v primeru, ko so pomanjkljivi podatki iz literature. Uporaba statistike omogoča izpostaviti bistvene naravne vire in jih ločiti od antropogenih vplivov, tudi v primeru, ko je obravnavano območje zelo onesnaženo. Prostorska predstavitev geokemičnih podatkov predstavlja obogatitev okoljske študije z dodano vrednostjo, saj omogoča sintezo pridobljenih podatkov raziskave z obsežno bazo že predhodno obstoječih.

## 6 Viri in literatura

- Adriano, D. C. 1996: Trace elements in terrestrial environments. Biogeochemistry, bioavailability and risks of metals. New York.
- Aiuppa, A. M., D'Alessandro, W., Federico, C., Palumbo, B., Valenza, M. 2003. The aquatic geochemistry of arsenic in volcanic groundwaters from southern Italy. Applied Geochemistry 18. Amsterdam.
- Brezigar, A. 1986: Coal seam of the Velenje coalmine. Geologija 28–29. Ljubljana.
- Callender, E. 2003: Heavy metals in the environment – Historical trends. Environmental Geochemistry 9. Amsterdam.
- Davis, J. C. 1986: Statistics and data analysis in geology. New York.
- Giammanco, S., Špeh, N., Justin, B., Veder, M. 2009: A case study of complex gas-water-rock-pollutants interactions in shallow groundwaters: Šalek Valley (Slovenia). Environmental Geology 57. Berlin.
- Hawkes, H. E., Webb, J. S. 1962: Geochemistry in Mineral Exploration. New York.
- Houlding, S. W. 1994: 3 D Geoscience Modeling, Computer Techniques for Geological Characterisation. Berlin.
- Mioč, P. 1978: Osnovna geološka karta 1 : 100.000, list Slovenj Gradec. Zvezni geološki zavod. Beograd.
- Mioč, P., Žnidaršič, M. 1978: Osnovna geološka karta 1 : 100.000. Tolmač lista Ravne na Koroškem. Zvezni geološki zavod. Beograd.
- Nicholson, K. 1993: Geothermal Fluids. Berlin.
- Ramšak, R. 1991: Kataster virov onesnaževanja zraka v občini Velenje. Delovno poročilo. ERICo. Velenje.
- Ranzinger, M. 2004: Hidrogeološki pogoji. Delovno poročilo. Premogovnik Velenje. Velenje.
- Rose, A. W., Hawkes, H. E., Webb, J. S. 1991: Geochemistry in Mineral Exploration. London.
- Sriwana, T., van Bergen, M. J., Sumarti, S., de Hoog, J. C. M., van Os, B. J. H., Wahyuningsih, R., Dam, M. A. C. 1998: Volcanogenic pollution by acid water discharges along Ciwidey River, West Java (Indonesia). Journal of Geochemical Exploration 62.
- Stropnik, M., Byrne, A. R., Smodiš, B., Jačimovič, R. 1994: Air pollution monitoring in the Šalek Valley. Acta Chimica Slovenica 41. Ljubljana.

- Svetina Gros, M. 1987: Hidrogeološka obdelava vrtine I-O/86 v Rudniku lignita Velenje. Diplomsko delo. Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Oddelek za geologijo. Ljubljana.
- Svetina Gros, M. 1994: Vpliv padavin na tla in vodne izvire na območju Termoelektrarne Šoštanj. Zbornik 1994/95. Zbirke Šaleški razgledi 11. Velenje.
- Svetina, M., Smodiš, B., Jeran, Z., Jaćimović, J. 1996: Trace Elements in the Water Cycle of the Šalek Valley, Slovenia, Using INAA. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 204. Lausanne.
- Špeh, N. 2000: Odziv potencialno prizadetih prebivalcev na nadaljnje širjenje ugrezninskega območja velenjskega premogovnika. Geografski zbornik 72-2. Ljubljana.
- Veselič, M. 1985: Hidrogeološke razmere. Problematika Rudnika lignita Velenje. Velenje.
- Wackernagel, H. 1995: Multivariate Geostatistics: An Introduction with Applications. Berlin.



## NAPOVEDOVALNI MODEL MOKROTNIH TRAVNIKOV PRI UPORABI DIGITALNEGA MODELA VIŠIN

**Erika Jež**

Slap 95, 5271 Vipava  
erika.jez@gmail.com

**dr. Tomaž Podobnikar**

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

UDK: 528.3:004.9  
633.2.03

### IZVLEČEK

#### **Napovedovalni model mokrotnih travnikov pri uporabi digitalnega modela višin**

Digitalni model višin (DMV) je digitalni zapis višin zemeljskega površja, na osnovi katerega lahko ustvarimo vrsto geomorfoloških, hidroloških in drugih spremenljivk. Raziskava je temeljila na izdelavi primerne napovedovalnega modela za razširjenost mokrotnih travnikov na osnovi spremenljivk DMV-ja. Za kalibracijo modela so bili uporabljeni testi značilnosti, za vrednotenje pa vizualne analize. Model je bil zgrajen s tehniko prekrivanja z utežmi. Rezultati so pokazali, da bi bilo za boljše in uporabnejše rezultate treba uporabiti natančnejši DMV, vključiti dodatne spremenljivke okolja ter uporabiti naprednejše metode modeliranja.

### KLJUČNE BESEDE

digitalni model višin (DMV), napovedovalni model, mokrotni travniki

### ABSTRACT

#### **Predictive model for wet meadow using digital elevation model**

Digital elevation model (DEM) is a design of the digital recording surface heights, on which we can generate different types of geomorphological, hydrological and other variables. The study bases on generating an appropriate predictive model of habitat distribution for wet meadows using DEM-variables. For calibration were applied significance tests, and for validation of the model were used visual analysis. The model was built with the weighted overlays. Results show that for the better and more usable results should be used more precise DEM, the model should include additional variables and more advanced modelling techniques should be developed.

### KEY WORDS

digital elevation model (DEM), predictive habitat model, wet meadows

## 1 Uvod

V zadnjih letih je geoinformacijska znanost na področju ekologije močno napredovala. Danes obstaja vrsta programov vključenih v geografske informacijske sisteme (GIS) ter širok nabor geomorfoloških in hidroloških spremenljivk. Te ustvarimo s pomočjo analiz pri uporabi digitalnega modela višin (DMV). DMV je najpomembnejši sloj, iz katerega je moč ustvariti vrsto informacij o prostoru, ki pomagajo pri reševanju okoljskih in naravovarstvenih problemov. V prispevku smo izdelali napovedovalni model za habitatni tip mokrotni travnik. Polnaravni vlažni travniki z visokim steblikovjem sodijo med naravne habitatne tipe, ki so zaščiteni z Direktivo o ohranjanju naravnih habitatov ter prosto živečih živalskih in rastlinskih vrst (Direktiva Sveta 92/43/EGS 1992).

Najobsežnejši in najlepše ohranjeni mokrotni travniki se nahajajo v bližini vodnega vira na ravnini, kjer voda lahko prestopi bregove. Z geomorfološkimi in hidrološkimi analizami na osnovi DMV-ja lahko ustvarimo širok nabor spremenljivk za raziskovanje značilnosti rastišč. To ekspertno znanje je pomembno za izgradnjo napovedovalnega modela.

Glavni namen raziskave je ugotoviti, ali lahko s pomočjo osnovnih geomorfoloških in hidroloških analiz pri izključni uporabi DMV-ja dobimo rezultate, uporabne za napovedovanje habitatnih tipov, kot je mokrotni travnik.

## 2 Metodološko ozadje

Z izboljšanimi in naprednejšimi statističnimi tehnikami v povezavi s prostorskimi podatki v GIS-ih se je razširilo tudi napovedovanje razširjenosti habitatov v ekologiji. Ti modeli so statični in izražajo verjetnostno stanje v naravi neke vrste ali združbe z ozirom na okolje, v katerem se pojavljajo v sedanjosti. Izgradnja napovedovalnih modelov poteka v več fazah: izdelava, kalibracija in vrednotenje modela (Guisan in Zimmermann 2000).

Izdelava modela se začne z raziskovanjem nekega že poznanega koncepta. V Sloveniji je problematiko mokrotnih travnikov obdelal Zelnik (2005). Ugotovil je, da imajo pri oblikovanju vegetacije mokrotnih travnikov bistveno vlogo vodni režim, kemijske lastnosti tal ter raba tal – košnja. V raziskavi smo se podrobneje posvetili vodnemu režimu, na katerega vplivajo geomorfološke v povezavi s hidrološkimi značilnostmi območja.

DMV je pri številnih uporabah GIS-ov in raziskavah najpomembnejši sloj (Kvamme s sodelavci 1997). V raziskavi smo uporabili DMV 12,5, ki velja za enega izmed geomorfološko najboljših DMV-jev Slovenije (GURS 2005). Izdelali so ga med leti 2003 in 2005 iz obstoječih podatkov Geodetske uprave Republike Slovenije (Podobnikar 2006). DMV je relativno natančen tudi na razgibanih območjih, vendar so geomorfološke spremenljivke, pridobljene iz DMV-ja, različne kakovosti.

Pridobivanju spremenljivk sledi izbira strategije vzorčenja podatkov (Guisan in Zimmermann 2000). Podatki, ki jih uporabimo za kalibracijo modela, morajo biti neodvisni in enako porazdeljeni, saj morajo vključevati vse značilnosti območja. Če vzorčenje ni izvedeno optimalno, to vpliva na kvaliteto modela. Poleg ustrezne strategije vzorčenja je ključnega pomena tudi pravilna izbira števila podatkov. Z večanjem števila podatkov postane vzorčenje bolj robustno (Hirzel in Guisan 2002). Vzorce podatke statistično obdelamo. V raziskavi smo uporabili osnovne statistične tehnike: teste normalnosti porazdelitve in teste značilnosti.

Za ugotavljanje normalne porazdelitve smo izbrali skupino testov, ki so zasnovani na empirični porazdelitveni funkciji (EDF). EDF testi temeljijo na primerjavi empirične in hipotetične porazdelitve funkcije (Thode 2002). Anderson-Darlingov test je najboljši med njimi, saj zazna največ odmikov od hipotetične normalne porazdelitve (Stephens 1986). Informacijo o porazdelitvi podatkov smo potrebovali za izbiro ustreznega testa značilnosti. Za podatke, ki imajo normalno porazdelitev, se uporablja t-test značilnosti (Turk 2009). Ko ni bil izpolnjen pogoj normalnosti spremenljivk, se uporablja Wilco-

xon-Mann-Whitneyjev test značilnosti, ki nadomešča klasični parni t-test (Pevc 2009). Pri tem testu se za primerjavo dveh vzorcev vse podatke razvrsti od najmanjšega do največjega in se jim pripiše vrednost glede na njegovo pozicijo v rangui. Vsota vrednosti pripisanih rangov se uporabi za izračun W-statistike:

$$W_1 = S_1 - n_1(n_1 + 1)/2 \text{ in } W_2 = S_2 - n_2(n_2 + 1)/2,$$

kjer je S vsota rangov za posamezen vzorec in n število podatkov v vzorcu. Ko sta  $W_1$  in  $W_2$  izračunana se manjšo statistiko primerja s kritično vrednostjo ter potrdi ali zavrže ničelno hipotezo.

Kalibracija modela je faza, v kateri izberemo spremenljivke, ki jih bomo vključili v model. Da povečamo natančnost in moč napovedovanja modela, moramo število spremenljivk omejiti. V raziskavi smo za glavno merilo vključevanja spremenljivk v model izbrali velikost W-statistike.

Preproste modele lahko ustvarimo v GIS programskih orodjih z uporabo tehnike prekrivanja slojev različnih spremenljivk (Guisan in Zimmermann 2000). Pri tem uporabimo pravilo odločanja, ki je ena izmed oblik multikriterijskih odločanj. Dve najbolj uporabljeni pravili odločanja sta linearna kombinacija z utežmi (*weighted linear combination*) ter idealna točka (*ideal point*) (Nyerges in Jankowski 2009).

Na koncu opravimo vrednotenje modela. Obstajata dva osnovna numerična načina za vrednotenje: prvi način je, da uporabimo en vzorec podatkov za kalibracijo in vrednotenje modela, drugi način pa je, da za kalibracijo modela in vrednotenje modela uporabimo dva neodvisna vzorca podatkov (Guisan in Zimmermann 2000). Vrednotenje modela smo izvedli s pomočjo vizualnih analiz. Vizualne metode so zelo pomembne za vrednotenje prostorskih podatkov in lahko nadgradijo nekatere pomanjkljivosti numeričnih oziroma statističnih metod. V praksi niso tako pogosto uporabljene (Podobnikar 2009a).

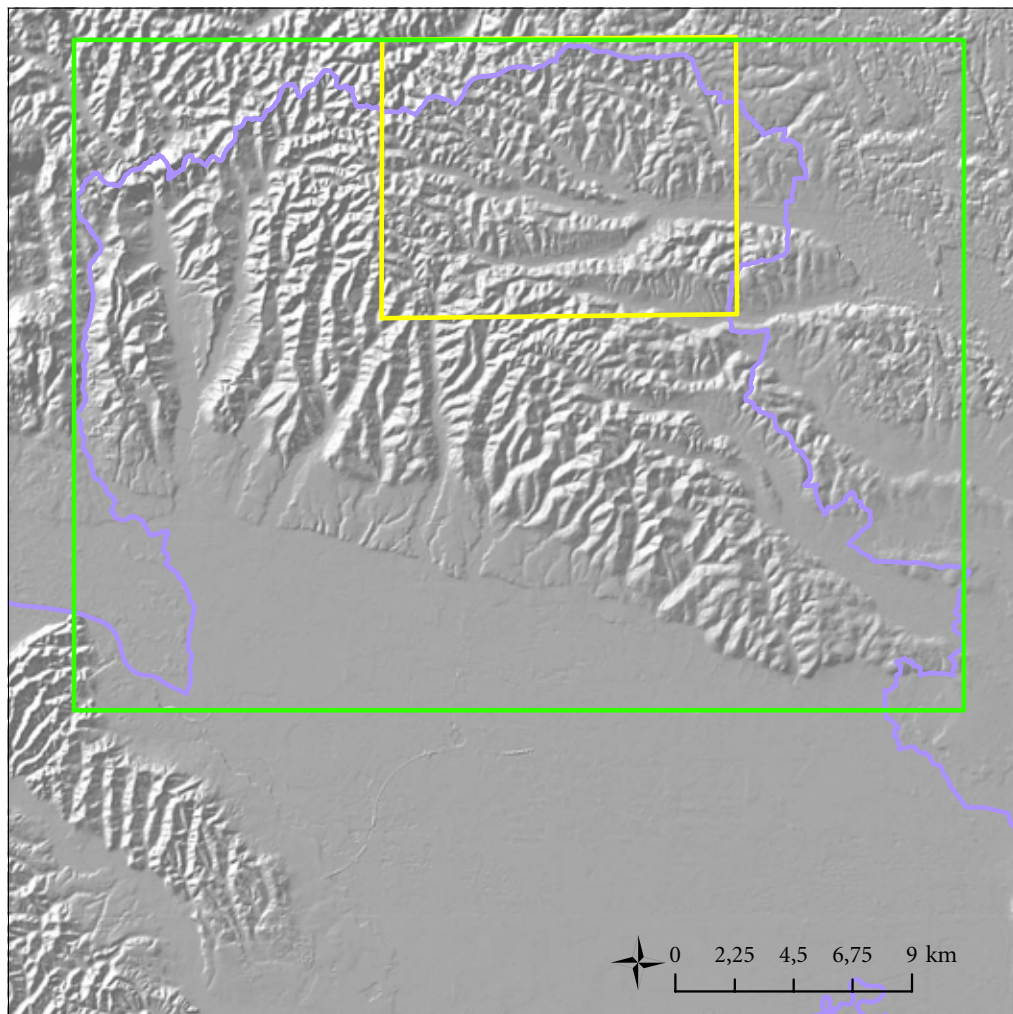
### 3 Izvedba modela

Terenski pregled pretežnega dela mokrotnih travnikov na območju Krajinskega parka Goričko je potekal konec julija 2009. Na terenu smo preverili, če imajo mokrotni travniki (ZRSVN 2003) še vedno rastišča na zabeleženih lokacijah. S primerjavo zajetih podatkov iz leta 2003 in 2009 lahko sklepamo, da je v šestih letih izginilo tudi do 3/4 mokrotnih travnikov. Glavni vzroki za to so zaraščanje, večanje vnosa gnojil na travnike ter spremenjena raba tal.

Na podlagi DMV-ja 12,5 (GURS 2005) ter grobega poznavanja geografskih značilnosti mokrotnih travnikov smo v treh GIS-programih izdelali geomorfološke in hidrološke spremenljivke, in sicer:

- spremenljivke ArcGIS-a: 1 ekspozicija (*aspect*), 2 prečna ukrivljenost (*plane curvature*), 3 podolžna ukrivljenost (*profile curvature*), 4 porečje (*basin*), 5 funkcija polnjenja (*fill*), 6 smer toka (*flow direction*), 7 smer toka – glajeno (*flow direction smooth*), 8 indeks vlažnosti (*wetness index*), 9 akumulacija toka (*flow accumulation*), 10 moč toka (*stream power*), 39 ukrivljenost (*curvature*) in 38 naklon (*slope*). Dodatne spremenljivke: 35 DMV 12,5 (GURS 2005) ter 36 relativni model višin in 37 kvazi naklon (obe Podobnikar 2009b).
- spremenljivke Saga GIS-a: 11 struge (*channel*), 12 konvergenčni indeks (*convergence index*), 13 klasifikacija ukrivljenosti (*curvature classification*), 14 dnevno anizotropno ogrevanje (*diurnal anisotropic heating*), 15 gradient (*dawnslope distance gradient*), 16 indeks mase (*mass index*), 17 multiočljivostni indeks ploskosti vrha slemen (MRRTF), 18 multiočljivostni indeks ploskosti dna dolin (MRVBF), 19 značilne točke terena (*surface specific points*), 20 globina dolin (*valey depth*), 21 razvodje (*catchment area*), 22 prispevni naklon (*catchment slope*), 23 hidrološka mreža (*channel network*), 24 povezljivi pretoki (*flow connectivity*), 25 smer toka (*flow direction*), 26 dolžina rečnega toka (*flow path lenght*), 28 horizontalna oddaljenost od hidrološke mreže (*horizontal overland flow distance to channel*), 29 topografski indeks vlažnosti (*topografic wetness index*), 30 vertikalna oddaljenost od rečne mreže (*vertical overland flow distance to channel*), 40 konkavnost (*concavity*) in 31 oddaljenost od rečne mreže (*overland flow distance to channel*).
- spremenljivke LandSerf-a: 32 prečni presek površja (*cross section*), 33 značilne točke površja (*feature extraction*), 34 longitudinalna ukrivljenost (*longitudinal curvature*).





Slika 1: Ožje raziskovalno (rumeno) in širše raziskovalno območje (zeleno).

Določili smo ožje in širše raziskovalno območje. Ožje raziskovalno območje smo izbrali vizualno in je namenjeno kalibraciji modela. Širše raziskovalno območje je pravokotno območje, ki vključuje celoten Krajski park Goričko, in je namenjeno vrednotenju modela (slika 1).

S tehniko naključnega vzorčenja smo vzorčili na sloju mokrotnih travnikov (ZRSVN 2003) 370 točk, kjer mokrotni travnik je, ter 370 točk na območju brez mokrotnih travnikov. Ta dva vzorca podatkov smo statistično obdelali.

Na osnovi rezultatov Anderson-Darlingovega testa normalnosti porazdelitve, ki smo ga izvedli v statističnem programu R, smo ugotovili, da nobena spremenljivka za območja mokrotnih travnikov ni normalno porazdeljena. Medtem, ko so za celotno raziskovalno območje brez mokrotnih travnikov, normalno porazdeljene spremenljivke dnevno anizotropno ogrevanje, DMV, relativni model višin, funkcija polnjenja, prispevni naklon ter naklon. Za izvedbo t-testa značilnosti, mora biti za isto spremenljivko normalno porazdeljen vzorec za območja mokrotnih travnikov ter vzorec za območja, kjer mokrot-

*Preglednica 1: Rezultati Wilcoxon-Mann-Whitneyjevega testa značilnosti in primernost za vključitev v napovedovalni model.*

geomorfološke spremenljivke	W-statistika	v modelu	geomorfološke spremenljivke	W-statistika	v modelu
36	114.802	da	3	51.602	ne
16	94.080	da	15	46.502	ne
38	93.962	da	37	45.468	ne
12	90.695	da	30	109.191	da
35	89.929	da	31	107.723	da
39	85.408	da	28	107.671	da
13	82.685	da	5	89.929	da
2	79.706	da	21	86.642	da
40	69.248	ne	6	70.525	ne
14	67.955	ne	8	62.478	ne
17	67.670	ne	25	56.935	ne
11	67.568	ne	22	55.124	ne
33	67.338	ne	24	53.258	ne
34	67.172	ne	10	49.148	ne
19	66.231	ne	9	43.961	ne
32	65.712	ne	27	40.555	ne
18	63.965	ne	29	32.927	ne
1	62.943	ne	23	117	ne
20	58.513	ne			

nih travnikov ni. Vendar nobena spremenljivka nima obeh vzorcev podatkov normalno porazdeljenih. Zato smo za vse spremenljivke izvedli Wilcoxon-Mann-Whitneyjev test značilnosti.

Test značilnosti smo izvedli v statističnem programu R. Nobena spremenljivka nima enake srednje vrednosti za območja mokrotnih travnikov in območja brez mokrotnih travnikov. S primerjavo W-statistik lahko razvrstimo spremenljivke: večja kot je statistika, večje so razlike med podatki in večja je značilnost vzorca. V preglednici 1 so spremenljivke razvrščene glede na W-statistiko od največje do najmanjše vrednosti. Spremenljivke, ki so na vrhu tabele, predstavljajo geomorfološke ali hidrološke značilnosti za mokrotne travnike in jih lahko vključimo v model. Spremenljivke, ki imajo vrednost statistike pod 75.000 enot, nismo vključili v model.

Vse spremenljivke, ki smo jih vključili v model, smo klasificirali v tri razrede: (3) največja, (2) manjša in (1) zelo majhna možnost pojavljanja mokrotnih travnikov. Največja možnost pojavljanja mokrotnih travnikov (3) je v območju standardnih odklonov od srednje vrednosti spremenljivke, najmanjša možnost pojavljanja (1) pa v območju med največjo vrednostjo spremenljivke za mokrotne travnike in največjo vrednostjo spremenljivke za celotno raziskovalno območje. Vsaki spremenljivki smo določili utežni koeficient. Predpostavili smo, da vsota vseh spremenljivk, vključenih v model, W-statistike predstavlja 100 % in izračunali deleže za vsako spremenljivko. Delež predstavlja utežni koeficientu.

Klasifikaciji in določanju utežnih koeficientov je sledilo utežno prekrivanje. Zanimala so nas območja, kjer je največja verjetnost pojavljanja mokrotnih travnikov (območja z vrednostjo 3). Ta območja smo preoblikovali v vektorske poligone. Vsak poligon z največjo verjetnostjo predstavlja lokacijo za mokrotni travnik (slika 2).

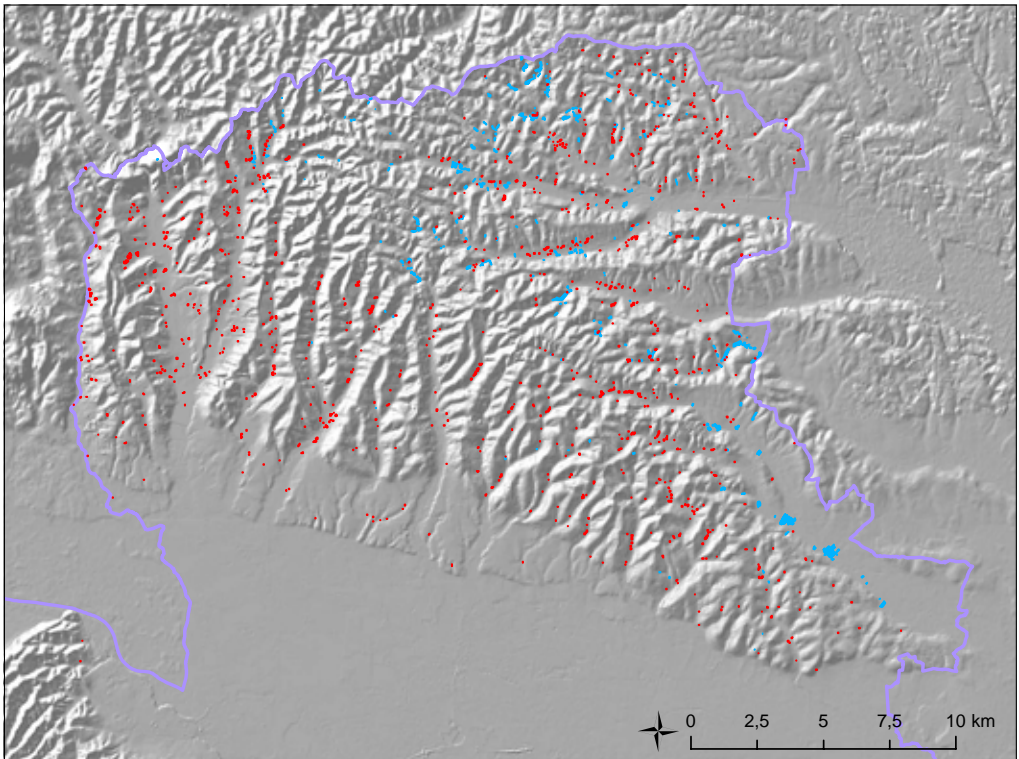
Za vrednotenje modela smo izbrali širše raziskovalno območje. Vzorec podatkov oziroma mokrotnih travnikov, s katerim smo izvedli vizualno vrednotenje, so terensko pridobljeni podatki, iz katerih

smo izločili mokrotne travnike ožjega raziskovalnega območja. Tako smo dobili aktualen in neodvisen vzorec 44 mokrotnih travnikov (iz leta 2009). Za vrednotenje kakovosti modela smo postavili merilo: delež vzorca (44 mokrotnih travnikov), ki sovпада z območjem modela, in sicer zelo dober ( $> 90\%$ ), dober ( $> 50\%$ ) in nezadovoljiv ( $< 20\%$ ).

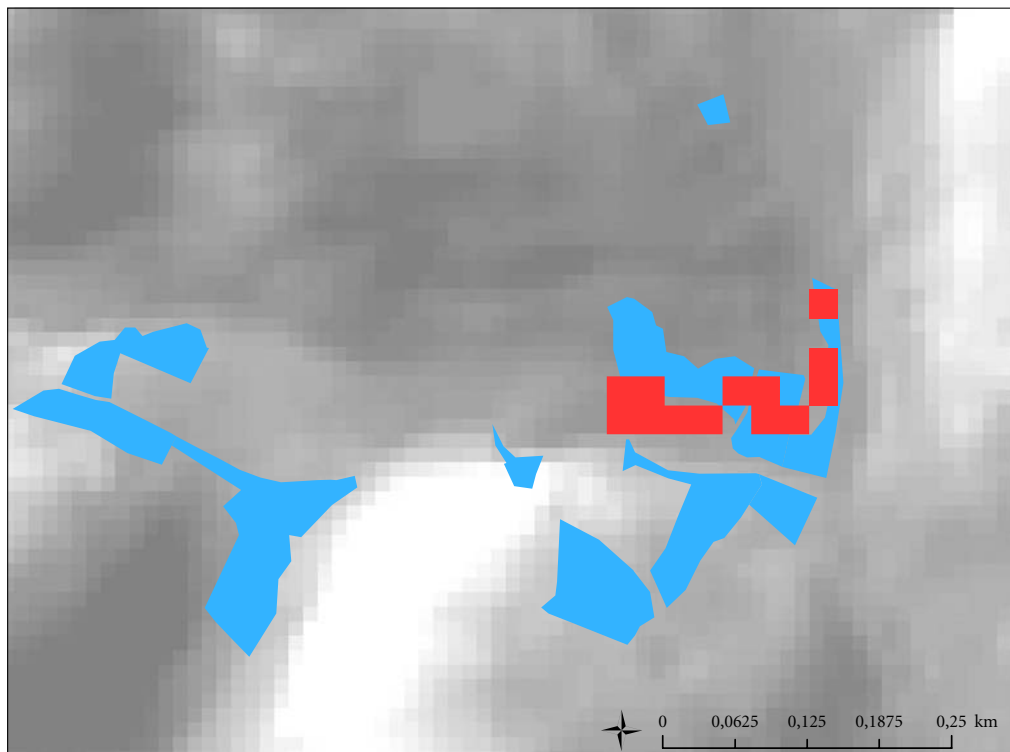
#### 4 Rezultati in razprava

Kot najpomembnejše spremenljivke ustvarjene izključno iz DMV-ja, ki izkazujejo značilnost za pojavljanje mokrotnih travnikov, so spremenljivke ukrivljenosti, naklona ter oddaljenosti od rečne mreže. Poleg tega je za pojavljanje mokrotnih travnikov na območju Goričkega značilna tudi nadmorska višina. Na osnovi značilnih spremenljivk smo za širše raziskovalno območje smo dobili 1503 poligone največje verjetnosti pojavljanja mokrotnih travnikov (slika 2). Rezultat modela za širše raziskovalno območje nam poda manjše poligone, kar dokazuje, da je v model vključenih dovolj spremenljivk. Potencialna območja razširjenosti mokrotnih travnikov so razporejena enakomerno po celotnem raziskovalnem območju.

Natančnejša analiza rezultatov pokaže, da od 44 mokrotnih travnikov, ki smo jih uporabili za vrednotenje modela, padlo v optimalno območje le 6 mokrotnih travnikov. Na sliki 3 so z modro označeni poligoni dejanskih območji mokrotnih travnikov, vendar v optimalno območje padeta le dva. Vseh mokrotnih travnikov, ki padejo v optimalno območje je 13 %, kar predstavlja nizko uspešnost modela. To pomeni, da model ni zadovoljiv in potrebuje izboljšavo.



Slika 2: Primerjava rezultatov napovedovalnega modela (rdeče) z dejanskimi območji mokrotnih travnikov iz leta 2003 (modro) (ZRSVN 2003).



Slika 3: Slika prikazuje dejanska območja mokrotnih travnikov (modra), vendar se samo dva poligona mokrotnih travnikov prekrivata z optimalnim območjem za pojavljanje mokrotnih travnikov (rdeče).

Sloji, izvedeni iz DMV-ja veljajo za najnatančnejše spremenljivke (Guisan in Zimmermann 2000), ki jih vgradimo v model. To velja ob predpostavki, da je DMV dovolj natančen.

V našem primeru smo se odločili za uporabo DMV-ja z ločljivostjo 12,5 m. Za habitatne tipe, še posebno za mokrotne travnike, je mikrorelief in s tem DMV večje ločljivosti zelo pomemben zaradi zaznavanja reliefnih oblik (Zelnik 2005). Predvidevamo, da bi bilo za iskanje potencialnih območij razširjenosti bolje uporabiti DMV z večjo prostorsko ločljivostjo. Tako bi tudi geomorfološke in hidrološke spremenljivke odražale realnejše značilnosti in bi prispevale k večji natančnosti napovedovalnega modela.

Za razširjenost mokrotnih travnikov so pomembni trije dejavniki (Zelnik 2005): vodni režim, kemijske lastnosti tal ter raba tal – košnja.

V nalogi smo se omejili samo na en dejavnik – hidrološke značilnosti, kemijske lastnosti in rabo tal smo zanemarili. Tu vidimo največji potencial za nadgradnjo rezultatov.

K večji natančnosti modela bi prispevala tudi nadgradnja eksperimentalnih metod. Za vzorčenje sta Hirzel in Guisan (2002) ugotovila, da sta za napovedovanje razširjenosti habitatov najprimernejši metodi stratificirano vzorčenje ter osnovno – rastrsko vzorčenje, medtem ko je naključno vzorčenje manj primerno. V raziskavi je bilo edino možno vzorčenje prav slednje. Testi značilnosti za kalibracijo modela so osnovne metode. Menimo, da bi za boljše rezultate napovedovalnega modela bilo treba uporabiti naprednejše statistične metode. Poleg tega spada izgradnja modela s prekrivanjem k preprostejšim metodam modeliranja. Z uporabo naprednejših metod bi bili rezultati napovedovalnega modela mogoče bolj kakovostni.

## 5 Sklep

Glavni namen raziskave je bil ugotoviti ali lahko s pomočjo osnovnih geomorfoloških in hidroloških analiz pri izključni uporabi DMV-ja dobimo dobre rezultate za napovedovanje mokrotnih travnikov. Rezultati napovedovalnega modela ne dajo zadovoljivega modela. Za dodelavo napovedovalnega modela mokrotnih travnikov predlagamo uporabo DMV-ja z večjo prostorsko ločljivostjo, širši izbor spremenljivk ter uporabimo naprednejše tehnike statističnih analiz ter modeliranja. Predvidevamo, da bi že z uporabo natančnejšega in podrobnejšega DMV-ja pridobili neprimerno boljše rezultate.

## Zahvala

*Raziskava je del diplomskega dela na Fakulteti za znanosti o okolju Univerze v Novi Gorici, in vključena v projekt TransEcoNet (Transnational Ecological Networks). Avtorja se zahvaljujeta tudi dr. Andražu Čarniju, ki je postavil izhodišča za aplikativni del raziskave.*

## 6 Viri in literatura

- Geodetska uprava Republike Slovenije (GURS) 2005: DMV 12,5, GKB-hidrografija. Ljubljana.
- Guisan, A., Zimmermann, N. E. 2000: Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135. Neuchatel.
- Hirzel, A., Guisan, A. 2002: Which is the optimal sampling strategy for habitat suitability modelling. *Ecological Modeling* 157. Lausanne.
- Kvamme, K., Oštir-Sedej, K., Stančič, Z., Šumrada, R. 1997: Geografski informacijski sistemi. Ljubljana.
- Nyerges, T. L., Jankowski, P. 2009: Regional and Urban GIS: A Decision Support Approach. New York.
- Pevc, D. 2009: Ocenjevanje zanesljivosti posameznih klasifikacij z lokalnimi metodami. Diplomsko delo. Fakulteta za računalništvo in informatiko. Ljubljana.
- Podobnikar, T. 2006: Digitalni model reliefa iz različnih podatkov. Življenje in tehnika 47-4. Ljubljana.
- Podobnikar, T. 2009a: Methods for visual quality assessment of a digital terrain model. S.A.P.I.EN.S. Medmrežje: <http://sapiens.revues.org/index738.html> (14. 11. 2009).
- Podobnikar, T. 2009b: Visibility simulation technique for support of visual recognition of the landform features. The World's geo-spatial solutions: conference proceedings. Santiago de Chile.
- Stephens, M. A. 1986: Goodness-of-Fit Techniques. New York.
- Thode, H. C. 2002: Testing for Normality. New York.
- Turk, G. 2009: Verjetnostni račun in statistika. Delavna različica učbenika. Medmrežje: <http://www.km.fgg.uni-lj.si/predmeti/sei/vrs1.pdf> (12. 11. 2009).
- Zakon o ohranjanju narave. Direktiva Sveta 92/43/EGS z dne 21. maja 1992 o ohranjanju naravnih habitatov ter prosto živečih živalskih in rastlinskih vrst. Uradni list RS 206. Ljubljana.
- Zavod Republike Slovenije za varstvo narave (ZRSVN) 2003: Ploskovni podatki o habitatnih tipih na območju Goričkega pridobljeni s kartiranjem z opisom. Ljubljana.
- Zelnik, I. 2005: Vegetacija travnikov reda Molinietalia W. Koch 1926 in kontaktnih rastišč v Sloveniji. Doktorsko delo, ZRC SAZU. Ljubljana.

## INTERVENTNA IN PREVENTIVNA SNEMANJA PRI NARAVNIH NESREČAH

**dr. Mihaela Triglav Čekada, dr. Dalibor Radovan**

Geodetski inštitut Slovenije

mihaela.triglav@gis.si, dalibor.radovan@gis.si

UDK: 528.8:504.4

### IZVLEČEK

#### **Interventna in preventivna snemanja pri naravnih nesrečah**

Metode brezkontakne izmere kot so fotogrametrija, daljinsko zaznavanje in lidar, omogočajo hitro pridobivanje podatkov o posledicah obsežnih naravnih nesreč. V članku bomo navedli naravne nesreče z vidika najučinkovitejše uporabe snemanj pred nesrečo (preventivno, prognozično) in po nesreči (interventno). Kot primer integracije različnih fotogrametričnih snemanj je predstavljeno interventno snemanje drobirskega toka v Logu pod Mangartom. Kot primer preventivnega snemanja je prikazana integralna obdelava satelitskih hiperspektralnih posnetkov, lidarja in hidrografskih meritev pri kartiranju poplavne ogroženosti reke Tise na Madžarskem.

### KLJUČNE BESEDE

snemanje, fotogrametrija, daljinsko zaznavanje, lidar, naravne nesreče

### ABSTRACT

#### **Interventive and preventive imaging for natural disasters**

Remote sensing methods such as photogrammetry, satellite imaging, and LIDAR, enable quick data acquisition regarding the consequences of natural disasters. The paper considers natural disasters with respect to the optimal use of imaging techniques before and after the disaster, i.e. for prevention and intervention, respectively. As an example of data integration in interventive situation, the debris flow Log pod Mangartom is presented, whereas the example of preventive data acquisition for flood hazard is presented on the example of Tisza River in Hungary.

### KEY WORDS

imaging, photogrammetry, remote sensing, lidar, natural disaster

## 1 Uvod

Med naravne nesreče štejemo potres, poplavo, zemeljski in snežni plaz, visok sneg, močan veter, točo, žled, pozebo, sušo, požar, boleznirastja in druge nesreče, ki jih povzročajo naravne sile. V Sloveniji nas večkrat ogrožajo poplave, plazovi, toča in suše.

Prostorski podatki in snemanja so geoinformacijska osnova za lažje odločanje o preventivnih ukrepih in intervencijah, pri napovedovanju in ocenjevanju škode, ter pri določanju stopenj ogroženosti. Mednje lahko štejemo že obstoječe evidence Geodetske uprave Republike Slovenije (npr. ortofotografije, digitalni model reliefa, zemljiški kataster, kataster stavb), večkrat pa bi morali za vsak pojav in tip nesreče naročiti nova, razmeram prilagojena snemanja s tehnikami daljinskega zaznavanja, npr. s fotogrametrijo, satelitskimi posnetki in lidarjem. Te omogočajo pokritje večjih ogroženih območij v relativno kratkem času.

Cilj članka je na podlagi primerov prikazati pomen posebnih snemanj z integracijo različnih podatkov pred nesrečo, med nesrečo in po njej. Kot primera sta opisana snemanje drobirskega toka v Logu pod Mangartom takoj po nesreči in ugotavljanja poplavne ogroženosti reke Tise na Madžarskem.

## 2 Okolje pred in po nesreči

Pri sledenju nesreč je pomemben zelo hiter odziv in takojšnje ukrepanje, za odpravljanje njenih posledic. To pomeni, da časa za njihovo snemanje ni veliko. Stanje pred nesrečo lahko ugotavljamo iz podatkov cikličnega aerosnemanja, ki se praviloma izvaja na 3 do 4 leta. Stanje po nesreči pa lahko evidentiramo s pomočjo novih snemanj. Metode snemanja določimo na osnovi obsega nesreče, pričakovane natančnosti prikaza posledic in hitrosti odziva izvajalca snemanja.

## 3 Snemanja pri potresih in plazovih

Pri močnejših potresih, pri katerih pride do porušitve objektov, si lahko pomagamo z vsemi tehnikami daljinskega zaznavanja. Pri šibkejših, ki povzročijo manjše premike površja in razpoke v stavbah, pa je večina teh tehnik le pogojno uporabna. Če imamo že pred potresom posneto območje z lidarjem z gostoto nad 10 točk na m<sup>2</sup>, lahko po potresu izvedemo ponovno snemanje in naredimo primerjavo med lidarskima oblakoma točk (Chigira s sodelavci 2004).

Za izmero majhnih premikov lahko uporabimo diferencialno radarsko interferometrijo, ki je uporabna tudi za zaznavanje plazovitosti (Oštir in Komac 2008). Obstoječa podatkovna baza, v kateri so opredeljeni pobočni premiki zaradi zemeljskih plazov, skalnih podorov in drobirskih tokov, se trenutno polni iz drugače pridobljenih podatkov (Komac s sodelavci 2008). Najbolj učinkovito je sprožene zemeljske (in tudi snežne) plazove dokumentirati z naknadnim fotogrametričnim ali lidarskim snemanjem.

## 4 Snemanja pri poplavah

Velik del Slovenije ogrožajo hudourniki (Rak s sodelavci 2008). Z dobrim poznavanjem reliefa in vodotokov se poplavam v dobri meri lahko izognemo. Z izdelavo kart ogroženosti zaradi poplav lahko načrtujemo zaščitne gradbene ukrepe, preprečimo nepremišljene posege v prostor, ter tako zmanjšamo število potencialno ogroženih prebivalcev. Poplavna ogroženost se modelira z razširjanjem poplavnih valov z eno- in dvodimenzionalnimi hidravličnimi modeli, ki so izdelani na osnovi detajlnega digitalnega modela reliefa (Rak s sodelavci 2008).

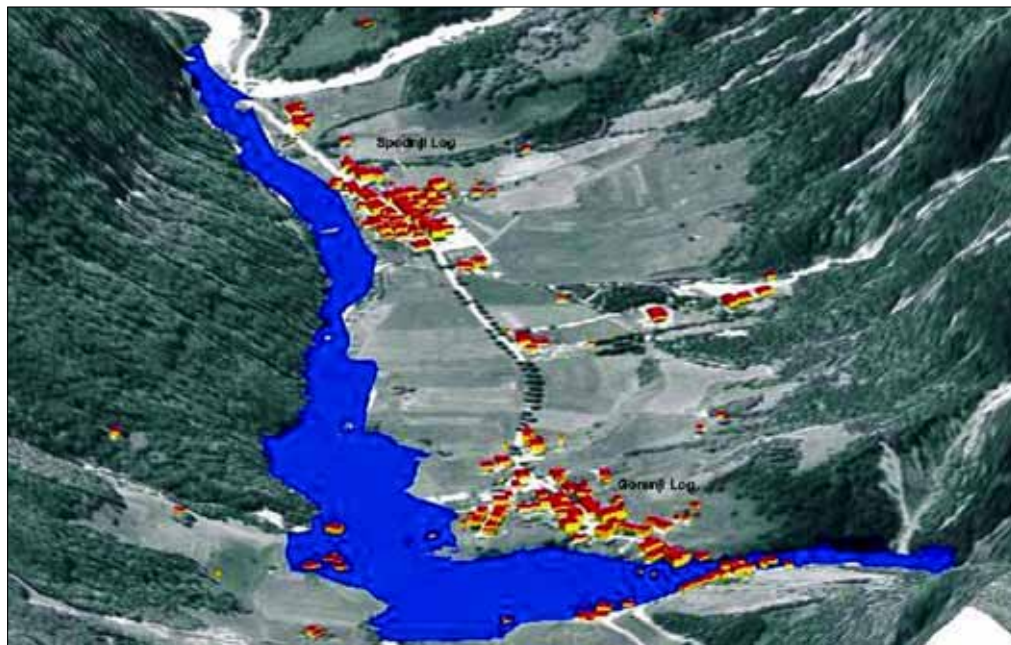
Najbolj goste in natančne digitalne modele reliefa lahko pridobimo z uporabo lidarja, kjer za rečna obrežja uporabimo klasični topografski lidar, za rečna korita pa batimetrični lidar (Wehr in Lohn 1999). Batimetrični lidar žal ni primeren za vodotoke z nizkim vodostajem, z motno, hitro in turbulentno vodo (Hilldale in Raff 2007). V tem primeru lahko uporabimo hidrografske meritve z ultrazvočnim sonarjem. Za spremljanje posledic poplav uporabljamo posnetke fotogrametričnih snemanj ali satelitske posnetke (Pehani s sodelavci 2008).

## 5 Snemanja poškodb rastja

Ujme, ki vplivajo na rastje, so odvisne od mikropodnebnih razmer. Večinoma lahko spremljamo le njihove posledice. S spremljanjem pojavljanja npr. pozebe in suše v preteklosti lahko napovedujemo ogroženost v prihodnosti. Obseg ujm lahko določimo z uporabo multispektralnih in hiperspektralnih posnetkov posnetih iz letala ali satelita (Oštir 2006). Pozeba, suša, požar, toča in bolezni na rastju vplivajo na strukturo rastlin, ki se razlikuje od strukture zdravih rastlin, zato so različni tudi spektralni odzivi, ki jim sledimo s samodejnimi postopki klasifikacije (Dežman Kete s sodelavci 2008).

## 6 Intervencijsko snemanje – drobirski toč v Logu pod Mangartom

V dolini Mangartskega potoka se je 15. novembra 2000 utrgal zemeljski plaz. Na svoji poti je uničil most na predelski cesti in se ustavil na sotočju Mangartskega potoka in Predelice. Zaradi obilnega deževja je iz splazele gmote nastal drobirski tok, ki je 17. novembra dosegel vas Log pod Mangartom (slika 1). Umrlo je 7 ljudi, porušenih ali poškodovanih je bilo 26 stavb. Skupno se je premaknilo okoli 1,2 milijona kubičnih metrov materiala (Zorn in Komac 2002; Mikoš s sodelavci 2007).



Slika 1: Obseg drobirskega toka po nesreči v Logu pod Mangartom.



Zaradi nestabilnosti območja je bilo treba čimprej izvesti oceno stanja. Geodetski inštitut Slovenije je 19. novembra 2000 izvedel interventno fotogrametrično snemanje z vojaškega helikopterja. Cilj snemanja je bila čim hitrejša merska dokumentacija prizadetega območja za nadaljnje delo vodarjev in geologov.

Časa za predhodno postavitve oslonilnih točk in izdelavo načrta snemanja ni bilo. Snemalec se je med snemanjem nagibal skozi odprta vrata helikopterja in območje posnel iz roke. Stereosnemanje je bilo izvedeno z merskim fotoaparatom srednjega formata. Pri vrednotenju stanja pred plazom so bili uporabljeni posnetki CAS iz leta 1998, ortofotografije, digitalni model višin s celico širine 25 m, podatki iz katastra stavb in skenogrami TTN 10. Karte stanja po splazenju so bil izdelane v večernih urah 18. novembra. Ko so vremenske razmere dopuščale, je bilo izvedeno podrobno kartiranje s klasičnim aerosnemanjem iz letala z merskim fotoaparatom velikega formata (Kosmatin Fras 2001).

Naknadno so bile obdelane še satelitske slike, posnete in pridobljene v okviru mednarodne akcije »Vesolje in velike nesreče«, kar je bilo izvedeno teden dni po dogodku. Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU je za naknadno analizo uporabil pet ERS, dva RADARSAT, štiri SPOT in dva Landsatova posnetka (Oštir in Veljanovski 2006).

Opisani primer je pomemben, saj jasno kaže časovno omejitev pri izvedbi interventnih snemanj za pridobitev grobih in detajlnih načrtov prizadetih območij. Žal so interventna snemanja prej izjema kot pravilo, saj sredstva v kriznih situacijah bodisi niso na voljo, ali pa je ovira že izvedba naročila, čeprav javni razpis za to formalno ni potreben. Interventna snemanja iz zraka niso ločeno sistemsko urejena v državnem proračunu Republike Slovenije.

## 7 Preventivno snemanje: poplave reke Tise

Tok reke Tise ima v okolici mesta Szeged povprečni padec le 1 do 3 cm/km in povprečni vodostaj okoli 3 m; v aprilu leta 2006 je vodostaj dosegel celo 10 m (slika 2).

V okviru projekta ENHYGMA (*ENVIRONMENTAL, HYDROLOGIC AND GROUND MANAGEMENT*), sofinanciranega od Evropske zveze, ki se je izvajal v letih 2006 do 2008, smo projektni partnerji izdelali študijo ogroženosti pred poplavami. Pri tem smo si pomagali z vsemi razpoložljivimi tehnikami, ki omogočajo natančne meritve reliefa in vodenega telesa.

Na 60 km dolgem odseku reke Tise med mestoma Midzent in Szeged je bilo na tri načine posneto območje velikosti 200 km<sup>2</sup> (slika 3): (a) iz helikopterja z lidarjem z gostoto 2,6 točk na m<sup>2</sup>, (b) s hiperspektralnim satelitskim snemanjem v 64 kanalnih z ločljivostjo 1,5 m in (c) s klasičnim snemanjem za izdelavo ortofotografij z ločljivostjo 20 cm. Snemanje je bilo izvedeno v nezalistanem delu leta marca 2007.

Ker topografski lidar ne prodre pod površino vode, so bile na testnem območju za izmero približno 1 km rečnega dna uporabljene večsnopne sonarske meritve z gostoto 4 točke na m<sup>2</sup>. Kombinacija



Slika 2: Prelivanje Tise v aprilu 2006.

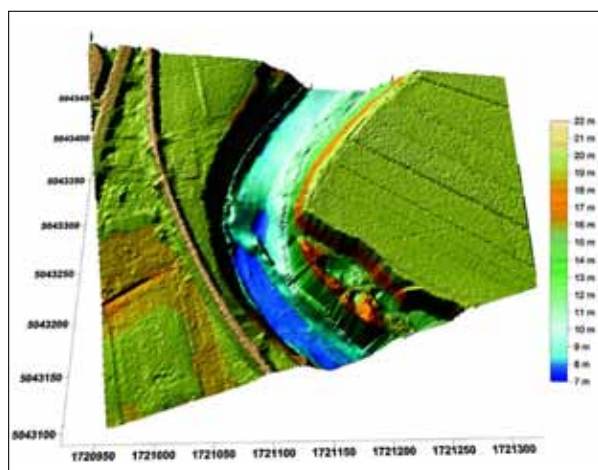


Slika 3: Testno območje ob reki Tisi.

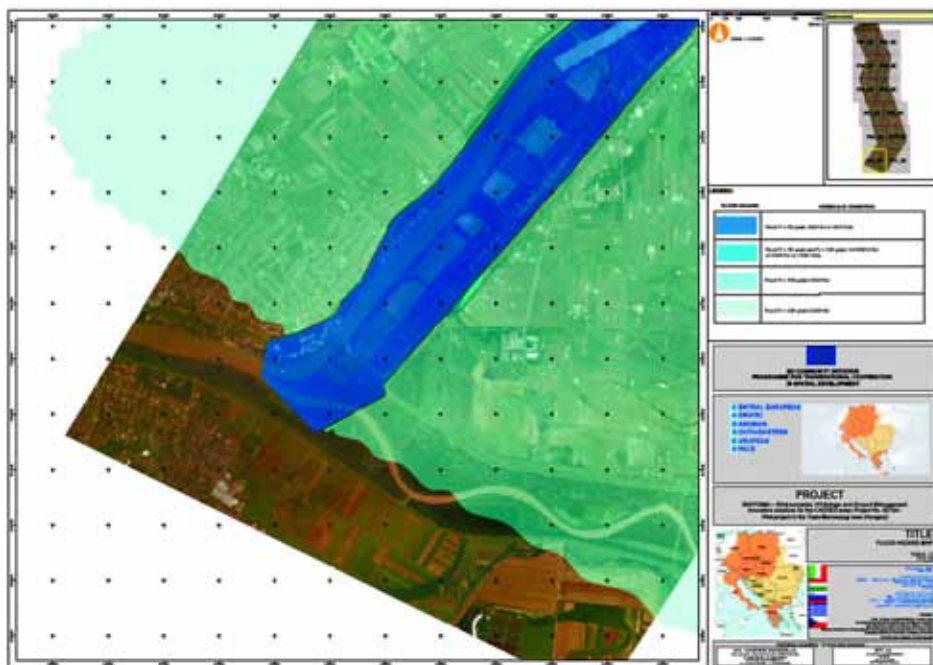
lidarske in sonarske izmere je bila uporabljena za izdelavo detajlnih hidravličnih modelov, ki so bili osnova za določitev poplavne ogroženosti (slika 4).

Ortofotografije in hiperspektralni posnetki so bili uporabljeni za izdelavo karte pokrovnosti ogroženega območja. Rastje je bilo klasificirano po klasifikacijskem ključu »CORINE land cover«. Spremembe v rastlinskem pokrovu pomembno vplivajo na naravno sposobnost zadrževanja vode na poplavnem obrečnem pasu in na potencialni obseg škode v primeru poplave, zato so bile izdelane karte pokrovnosti za različne časovne preseke (preglednica 1).

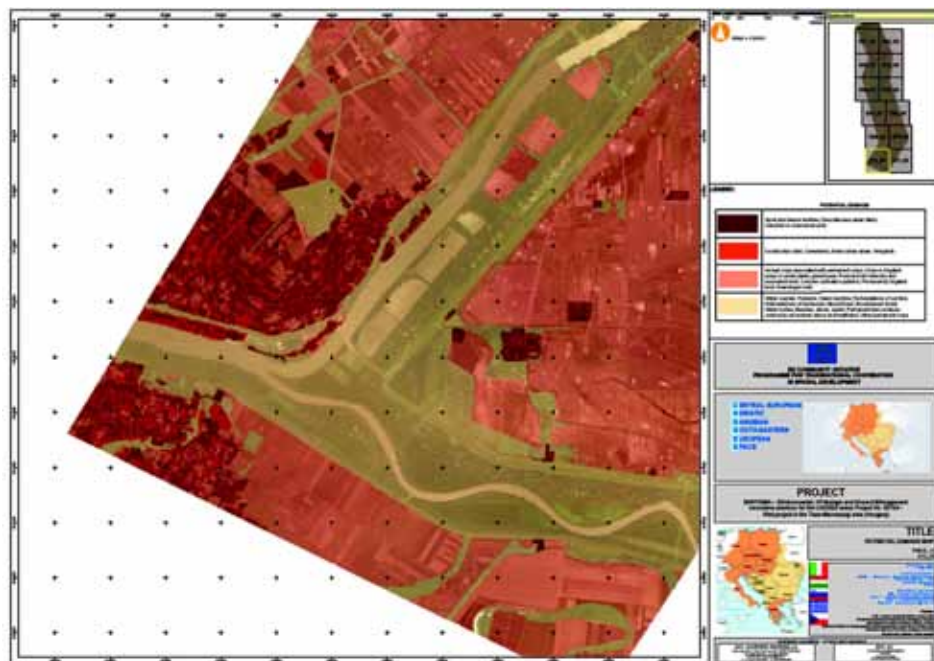
Iz zgoraj naštetih podatkov so bile izdelane karte poplavne nevarnosti, potencialne škode in poplavne ogroženosti (slike 5, 6 in 7). Podatki in karte, ki so bili izdelani v okviru tega projekta, so bili združeni v informacijski sistem, ki služi uporabnikom pri prostorskem načrtovanju, načrtovanju hidroloških varovalnih mehanizmov in obveščanja javnosti v primeru poplav.



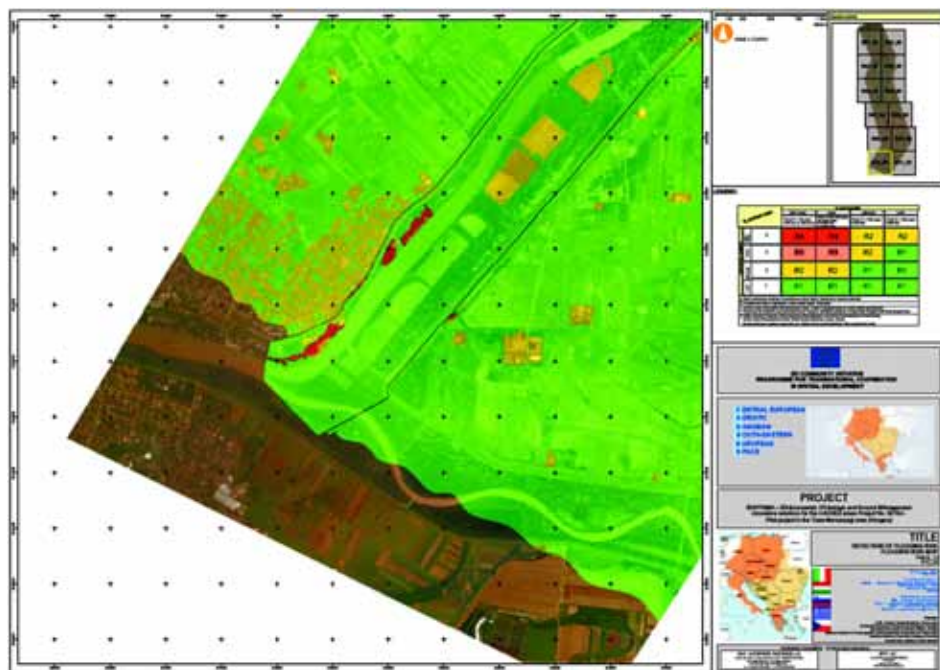
Slika 4: Združeni podatki lidarskih topografskih meritev in batimetričnih meritev s sonarjem.



Slika 5: Karta poplavne nevarnosti.



Slika 6: Karta potencijalne škode.



Slika 7: Karta poplavne ogroženosti.

Preglednica 1: Uporabljeni satelitski posnetki za kartiranje rastlinskega pokrova.

datum snemanja	vrsta satelitskega posnetka	ločljivost
11. 8. 1986	SPOT-3 (HRV)	20 m
13. 8. 1998	SPOT-4 (HRVIR)	20 m
27. 6. 2006	SPOT-4 (HRVIR)	20 m
18. 7. 2006	SPOT-5 (HR6)	10 m

## 8 Sklep

Naravna nesreča začasno ali trajno spremeni okolje. Pri ugotavljanju sprememb uporabljamo skupaj s prostorskimi podatki tudi različna snemanja iz zraka ali vesolja. V prispevku smo navedli različne tehnike daljinskega zaznavanja, ki jih uporabljamo pri preventivnem in interventnem snemanju površja, ogroženega ali prizadetega zaradi naravnih nesreč. Z novimi vrstami snemanj lahko povečamo prostorsko in časovno ločljivost, število zajetih objektnih tipov ter natančnost zaznavanja sprememb. Opisana primera in primeri iz literature kažejo, da najboljše rezultate dobimo z integracijo različnih podatkov pridobljenih z več snemalnimi tehnikami.

Ob nesrečah je nujen hiter odziv strokovnjakov, ki se ukvarjajo z daljinskim zaznavanjem, saj hitro pridobljeni podatki vplivajo na načrtovanje akcij zaščite in reševanja na ogroženih območjih, oceno škode in načrtovanje zaščitnih objektov po nesreči.

## 9 Viri in literatura

- Chigira, M., Duan, F., Yagi, H., Furuya, T. 2004: Using an airborne laser scanner for the identification of shallow landslides and susceptibility assessment in an area of ignimbrite overlain by permeable pyroclastics, *Landslides* 3. Berlin.
- Dežman Kete, V., Ipša, A., Mesner, N., Oven, K. 2008: Prepoznavanje kmetijskih kultur z daljinskim zaznavanjem. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008*. Ljubljana.
- Hilldale, R. C., Raff, D. 2007: Assessing the ability of airborne lidar to map river bathymetry. *Earth Surface Processes and Landforms* 33-5.
- Komac, M., Fajfar, D., Ravnik, D., Ribičič, M. 2008: Nacionalna podatkovna baza zemeljskih plazov. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008*. Ljubljana.
- Kosmatin Fras, M. 2001: Vloga fotogrametrije in prostorskih podatkov pri dokumentiranju naravnih katastrof – primer plazu pod Mangartom. *Geodetski vestnik* 45, 1–2. Ljubljana.
- Mikoš, M., Fazarinc, R., Majes, B. 2007: Določitev ogroženega območja v Logu pod Mangartom zaradi drobirskih tokov s plazu Stože. *Acta geographica Slovenica* 47-2. Ljubljana.
- Oštir, K., Veljanovski, T. 2006: Application of satellite remote sensing in natural hazard management: The Mount Mangart landslide case study. *Proceedings of 5<sup>th</sup> Mountain Cartography Workshop*. Bohinj.
- Oštir, K., Komac, M. 2008: Primerjava uporabe metodologije PSInSAR in DIInSAR za opazovanje premikov površja – primer severozahodne Slovenije. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008*. Ljubljana.
- Pehani, P., Kokalj, Ž., Marsetič, A., Oštir, K. 2008: Uporaba satelitskih posnetkov za analizo poplav septembra 2007. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008*. Ljubljana.
- Rak, G., Steinman, F., Gosar, L. 2008: Kartiranje poplavno ogroženih območij v skladu z novo zakonodajo v Sloveniji. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008*. Ljubljana.
- Wehr, A., Lohn, U. 1999: Airborne laser scanning – an introduction and overview. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 54.
- Zorn, M., Komac, B. 2002: Pobočni procesi in drobirski tok v Logu pod Mangartom, *Geografski vestnik* 74-1. Ljubljana.

## SUŠA – OD MERJENEGA PODATKA DO GIS PORTALA

**mag. Tomaž Vernik, dr. Borut Vrščaj**

Center za tla in okolje, Kmetijski inštitut Slovenije  
tomaz.vernik@kis.si, borut.vrscaj@kis.si

**Andrej Ceglar, dr. Zalika Črepinšek**

Katedra za Agrometeorologijo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani  
andrej.ceglar@bf.uni-lj.si, zalika.crepinsek@bf.uni-lj.si

**dr. Alenka Šajn - Slak, mag. Matjaz Ivacič**

CGS Plus  
alenka.sajn@cgspplus.si, matjaz.ivacic@cgspplus.si

UDK: 632.112:659.2:004

### IZVLEČEK

#### **Suša – od merjenega podatka do GIS portala**

V prispevku je opisan razvoj sistema prostorskih podatkov in naprednih algoritmov GIS-ov za napovedovanje in oceno posledic suše v realnem času. Predstavljen je model geometrijske in vsebinske izboljšave pedoloških podatkov in raziskane možnosti izboljšav vhodnih podatkov za napovedovanje suše na kmetijskih površinah. Opisani so izboljšave, opredelitev in geokodiranje fizikalnih podatkov tal za oceno sposobnosti zadrževanja vode, opredelitev in geokodiranje potreb rastlin po vodi, zasnova in vzpostavitev sistema za zajem in obdelavo agrometeoroloških podatkov v realnem času, preverjanje modela napovedovanja vodne bilance in njegova implementacija v GIS-ih, vzpostavitev sistema obdelave podatkov ter vzpostavitev spletnega portala za pregled in vizualizacijo bilance vode za izbrane kmetijske rastline.

### KLJUČNE BESEDE

tla, rastline, suša, modeliranje, GIS, obdelava v realnem času, spletni GIS

### ABSTRACT

#### **Drought – from the measured data to the GIS Portal**

This paper describes the development of spatial data and GIS advanced algorithms for forecasting and assessing the effects of drought in real time. It presents a geometrical model and the substantive improvements of soil data as well as the possibilities for improvement of drought forecasting input data for agricultural land. It describes the improvement, definition of physical data and the process of geocoding for soil water retention estimation, identification and geocoding process of plant water needs, design of the system which captures and processes agro-meteorological data in real time, system of verifying the water balance prediction model and its implementation into GIS, the establishment of data processing system and an internet portal for examination and visualization of water balance for selected agricultural crops.

### KEY WORDS

soil, plants, drought, modelling, GIS, real time processing, web GIS

## 1 Uvod

Kmetijstvo se srečuje s čedalje večjimi ekološkimi omejitvami, ki jih narekujejo podnebne spremembe. Pri razvoju sodobnih sistemov obveščanja pred sušami in drugimi naravnimi nesrečami so nujni vključevanje tehnologije geografskih informacijskih sistemov (GIS), multidisciplinarno povezovanje in znanstveni pristop.

Ustrezni podatki o fizikalnih lastnostih tal, podatki reliefa visoke ločljivosti in agrometeorološki podatki v realnem času omogočajo ne le oceno primernosti prostora za kmetovanje temveč omogočajo izračun kapacitete tal za vodo, skupaj z ustreznimi podatki rastlin in padavin pa tudi za izračun vodne bilance tal.

Obstoječi slovenski podatki o fizikalnih lastnostih tal so precej pomanjkljivi. Slovenija prav tako nima vzpostavljene baze podatkov o kmetijskih rastlinah, ki bi bila istočasno vezana na fenofaze, prostor in čas.

Hkrati se kaže potreba po izgradnji enotnega, večnamenskega agrometeorološkega informacijskega sistema s skupno bazo podatkov vseh obstoječih merilnih postaj ter tematskimi modeli in spletnimi prikazovalniki podatkov. Tak sistem bi koristil kar najširšemu krogu uporabnikov, javnim inštitucijam in kmetijskim pridelovalcem.

Ustrezno pripravljene strokovne podlage – prostorske baze podatkov (fizikalne lastnosti tal večje natančnosti, potrebe kmetijskih rastlin po vodi v različnih fazah rasti, strukturirani in prostorsko obdelani podatki padavin), omogočajo napovedovanje in lažje ocenjevanje posledic suš. Posebno pomemben je ažuren dostop do združenih in prostorsko obdelanih podatkov padavin in temperatur v realnem času. Te podatki morajo biti umeščeni v ustrezno zasnovan GIS opremljenem z naprednimi algoritmi vrednotenja, ki omogočajo obdelavo osnovnih fizikalnih podatkov tal in potreb rastlin po vodi glede na fazo rasti, geografsko pozicijo, izračuni dodatnih agrometeoroloških parametrov ter prostorsko oceno in predstavitev vodne bilance/oceno nevarnosti suše.

## 2 Metodologija

- Izboljšava digitalnih podatkov tal: Z uporabo naprednih metod digitalne kartografije tal (DKT) je mogoče Pedološko karto Slovenije 1 : 25.000 (PK25) precej izboljšati. Rezultat uporabe postopkov DKT-ja sta detajlnejše merilo in povečana ali nova vsebinska natančnost podatkov tal. Osnova za uporabo metod DKT-ja so geokodirani podatki pedogenetskih dejavnikov, ki jih Slovenija premore. Metoda omogoča izdelavo podatkovne baze za modeliranje vodne bilance. Preizkus in implementacija metode je bila izvedena s pomočjo programske opreme GRID modula ArcInfo-Workstation in Arc Macro Language (AML). Uporabljene so bile ORACLE pedološke baze podatkov KIS-a, do katerih smo dostopali z vmesnikom Toad. Rezultat modelov so samostojni rastrski sloji v ESRI grid obliki (grid).
- Potrebe rastlin po vodi: Dostopni podatki so bili vneseni v ORACLE relacijsko bazo podatkov prek vmesnika Toad. Zaradi velike heterogenosti slovenskega podnebja, tal in reliefa so bile lastnosti posameznih agroklimatskih con poenotene. Izdelana je bila geokodirana baza agroklimatskih con Slovenije. Avtomatizacija izdelave algoritmov v GIS in rastrskih slojev potreb rastlin po vodi je bila izvedena s programsko opremo ArcInfo-Workstation.
- Agrometeorološki podatki v realnem času: Smernice za izgradnjo enotnega sistema spremljanja osnovnih agrometeoroloških parametrov v realnem času v Sloveniji temeljijo na priporočilih Svetovne meteorološke organizacije. Za potrebe izdelave spletnega portala Suša smo meteorološke podatke osveževali v realnem času s pomočjo programske opreme Microsoft Windows Server 2003, Internet Information Server, Microsoft SQL Server 2005, Autodesk MapGuide 6.5., ki je bila integrirana v CGS.NET aplikaciji 'Suša'.

- Dopolnitev in verifikacija modela za oceno sušnosti: Izračun in zasnova izgradnje vodno-bilančnega modela integrira tri skupine podatkov na modelnem nivoju: pedološke (talne), fenološke in meteorološke. Celoten programski paket obdelave agrometeoroloških podatkov je bil zasnovan in izgrajen v programskem jeziku R (<http://cran.r-project.org>). Za dnevno osveževanje meteoroloških podatkov; iz točkovnih meritev v prostorsko porazdelitev količine padavin ter evapotranspiracije (ET), je bila izdelana GIS aplikacija ki temelji na uporabi objektivnih interpolacijskih metod. Na osnovi priporočil FAO ter primerjave več metod (Kurnik 2001; Kajfež-Bogataj in Kurnik 2004), je bila za implementacijo izbrana Penman-Monteithova metoda (Allen s sodelavci 1998). Omenjeni GIS modul je bil nato vgrajen v programsko shemo vodno-bilančnega modela, ki dnevno računa primanjkljaj vode v koreninskem območju tal.

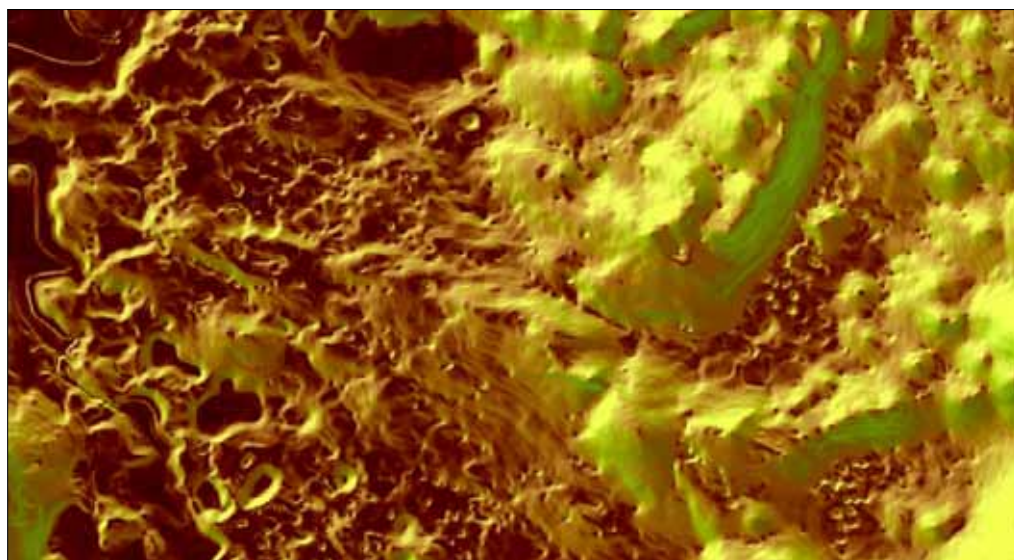
### 3 Cilji in rezultati

Glavni cilj raziskave je bil razvoj sistema prostorskih podatkov in naprednih algoritmov GIS-ov za napovedovanje in oceno posledic suše v realnem času. Rezultat so vzpostavljali štiri skopi:

#### 3.1 Razvoj metode digitalne kartografije tal za prostorsko in vsebinsko izboljšavo podatkov tal

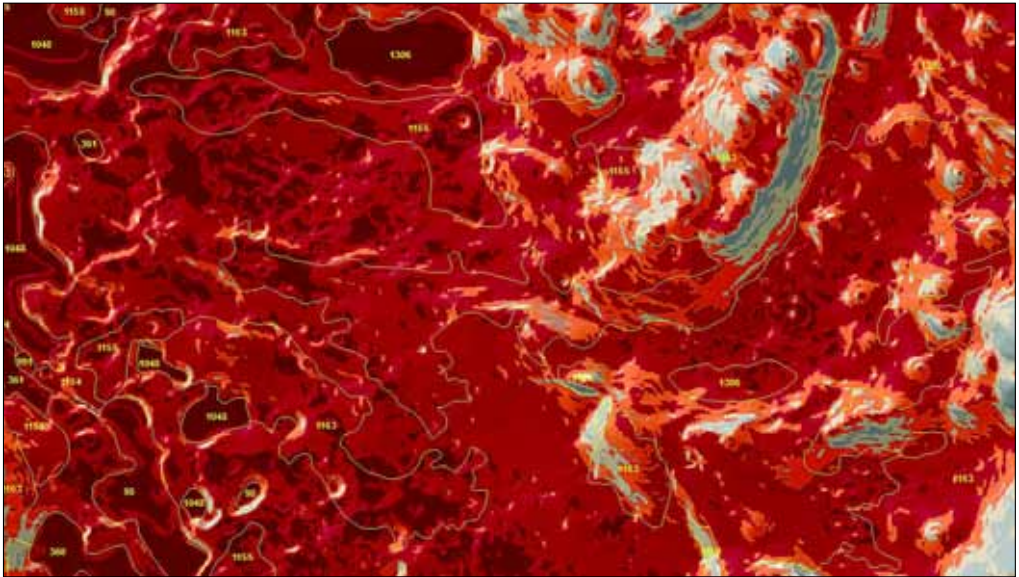
Razvita je bila metoda za izboljšavo podatkov pedološke karte in narejena ocena sposobnosti tal za zadrževanje vode.

- Metoda za izboljšavo podatkov pedološke karte: Cilj je bil razvoj in preizkus metode za izboljšavo geometrije in vsebine PK25 za potrebe boljše opredelitve lastnosti, kakovosti in potenciala tal kmetijskih zemljišč. Metoda temelji na prevedbi ekspertnega pedološkega znanja v pedotransfer funkcije in njihovi implementaciji v GIS algoritmi. V prvi stopnji je na podlagi geomorfoloških parametrov (litologije in derivatov DMV-ja) predvidena pojavnost in globina značilnih pedogenetskih horizontov v prostoru. Rezultat AML algoritmov so ločeni gridi globin posameznih talnih horizontov. Prisotnost in debelina diagenetskih talnih horizontov določa talni tip. V drugi stopnji algoritem na podlagi

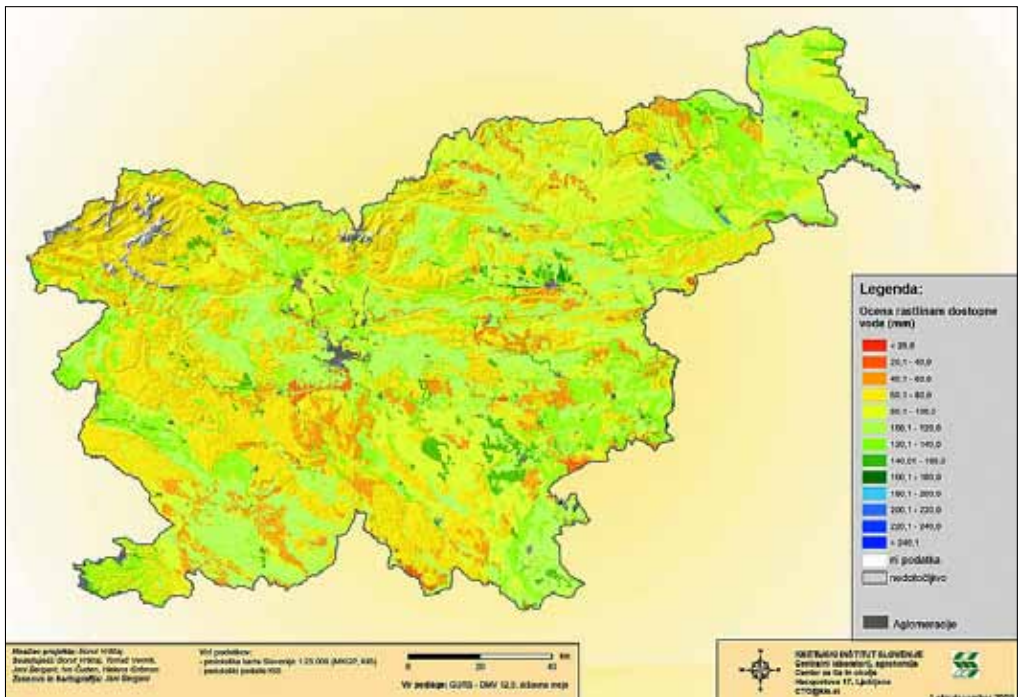


Slika 1: Skupna globina tal modelnega območja (cm).





Slika 2: Primerjava rastrske (12,5 m) in vektorske pedološke karte merila 1 : 25.000.



Slika 3: Vsebnost skupne rastlinam dostopne vode v tleh (mm) do globine 60 cm.

gridov diagnostičnih horizontov izdelava nov grid porazdelitve posameznih talnih tipov v prostoru. V prostorskem smislu le-ti omogočajo natančnejšo razporeditev talnih tipov v modelnem območju in s tem izboljšano ločljivost novo nastale rastrske pedološke karte (slika 2). V vsebinskem smislu omogočajo natančnejšo interpretacijo fizikalnih podatkov talnih horizontov in posledično bolj verodostojno oceno sposobnosti tal za zadrževanje vode. Slednja je osnova za modeliranje vodne bilance. Slika 1 prikazuje rastrski sloj skupne globine tal, ki je 'seštevek' posameznih horizontov na tleh modelnega območja. Metoda predstavlja način prevedbe PK25 v bazo podatkov tal boljše ločljivosti večjega merila (č1 : 10.000) z uporabo še obstoječega, a žal izginjajočega ekspertnega terenskega znanja (Vrščaj s sodelavci 2009).

- Ocena sposobnosti tal za zadrževanje vode: Na podlagi merjenih podatkov kot sta tekstura tal in vsebnost organske snovi smo ocenili poljsko kapaciteto (PK), točko venenja (TV) in rastlinam dostopno vodo (RDV). Ti izvedeni parametri so v naslednji fazi omogočili oceno sposobnosti tal za zadrževanje vode po posameznih, po lastnostih/kapacitetah različnih horizontih. PK, TV in RDV prek podatka o evapotranspiraciji (ET) in specifičnem faktorja rastline (Kc) omogočajo izračun vodne bilance in so nujen del informacije za napovedovanje sušnosti in pripravo ukrepov. Omogočajo tudi oceno primernosti tal za določene kmetijske kulture. Metode so bile preizkušene in implementirane s pomočjo programske opreme GRID modula ArcInfo-Workstation ob uporabi AML-ja. Uporabljene so bile ORACLE baze podatkov tal KIS-a, do katerih smo dostopali z Toad-om. Vsi merjeni podatki fizikalnih lastnosti horizontov so umeščeni v GIS-u, opremljeni s SQL funkcijami za izračun TV-ja, RV-ja in RDV-ja in povezani z digitalno pedološko karto. Gridi PK-ja, TV-ja, RDV-ja so bili izdelani za celo Slovenijo, prikazani v obliki zemljevidov (slika 3) in so dostopni na spletnem portalu Suša.

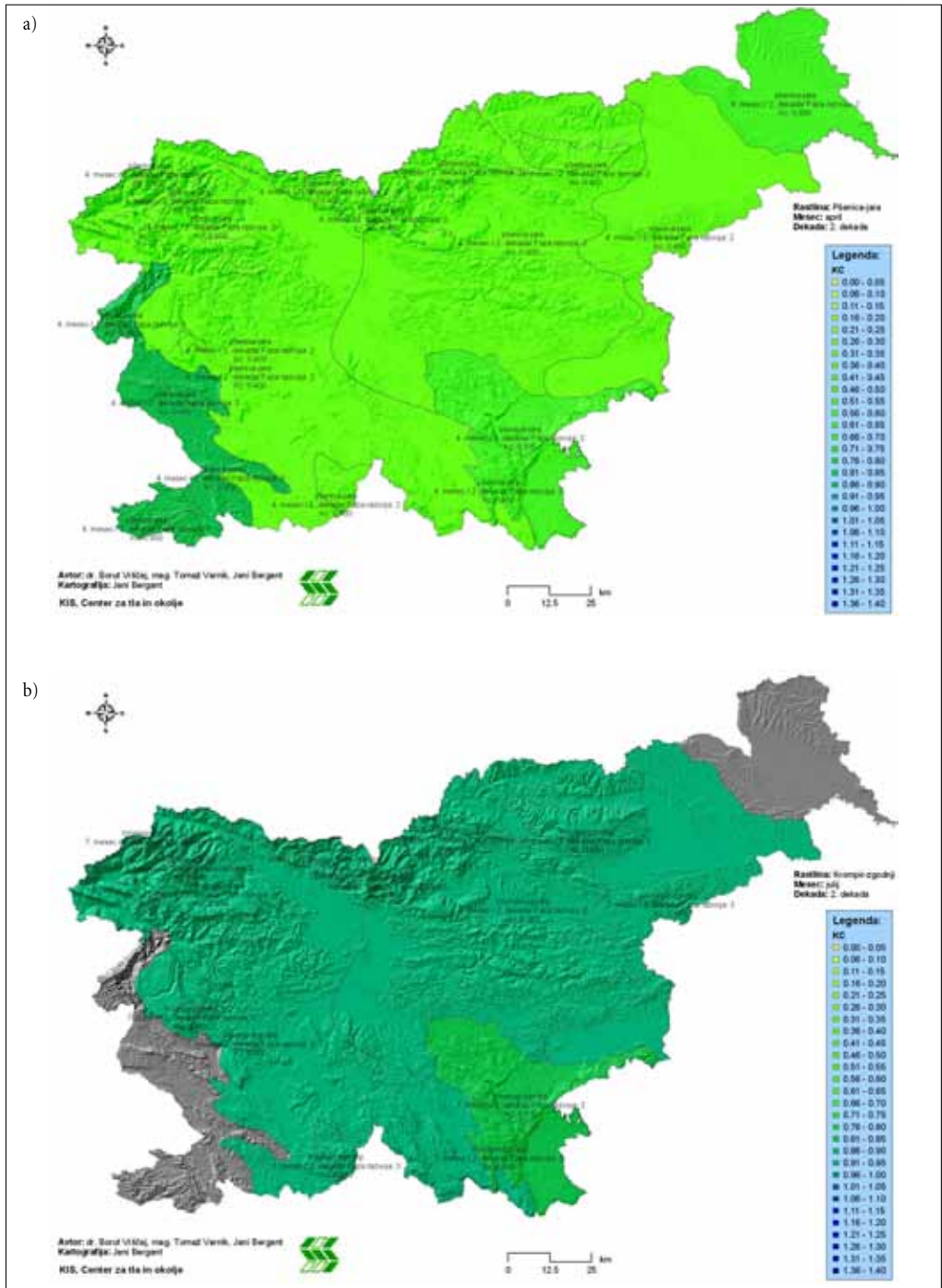
### 3.2 Zasnova prostorsko-fenoloških baz podatkov za modeliranje potreb kmetijskih rastlin po vodi

Za napovedovanje in oceno posledic suše smo vzpostavili in dopolnili bazo lastnosti glavnih kmetijskih rastlin (faktor Kc) v okviru različnih fenofaz ter geokodirali podatkovne baze Kc in jih integrirali v GIS. S tem smo ob talni komponenti zagotovili tudi komponento rastline: občutljivost različnih rastlin na vodni stres glede na prostor in fazo razvoja (Vernik in sodelavci 2009). Izdelali smo SQL bazo podatkov potreb po vodi za 13 najpomembnejših slovenskih kmetijskih rastlin v različnih fenofazah razvoja. Glede na podnebje, geografsko pozicijo in talne lastnosti smo izdelali gride agroklimatskih con. Za vsako izmed rastlin je bila glede na posamezno fenofazo ocenjena globina korenin in njena potreba po vodi. Izdelana je bila rastrska baza podatkov Kc glede na agroklimatsko cono, fenofazo in dekadno kot vhodni podatek za izračun vodne bilance. Razvili smo AML algoritme za povezovanje gridov agroklimatskih con, potreb rastlin po vodi, podatkov posameznih fenofaz ter oceno PK-ja, TV-ja in RDV-ja. Slika 4 prikazuje primer potreb po vodi za jaro pšenico v 2. dekadi aprila in zgodnji krompir v 2. dekadi julija.

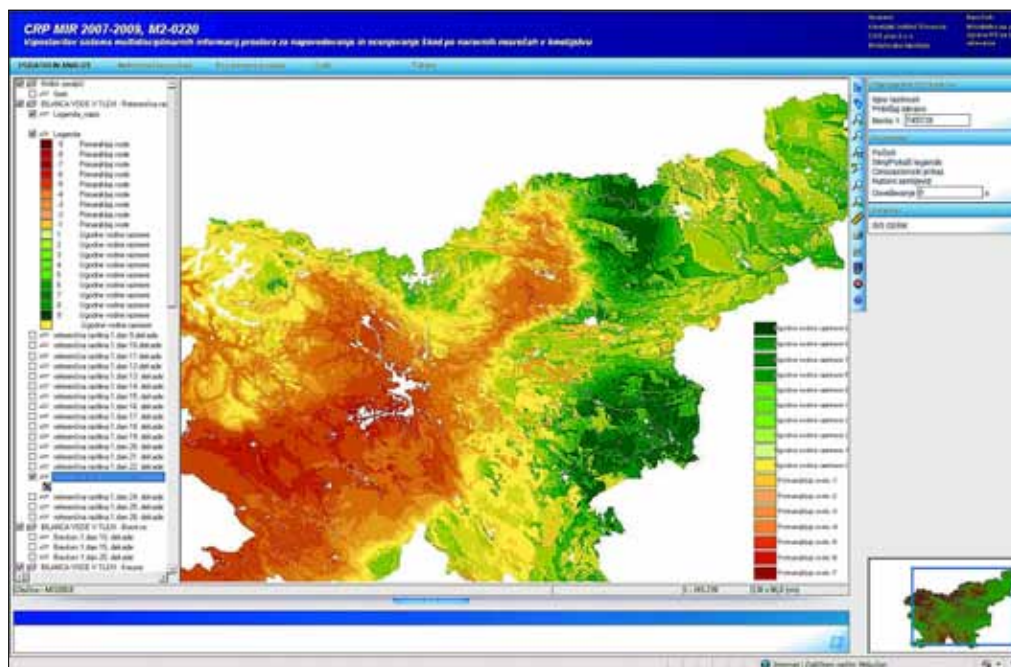
### 3.3 Agrometeorološki podatki v realnem času

Vzpostavili smo sistem zajema in integracije osnovnih merjenih agrometeoroloških podatkov v realnem času (na modelnem nivoju), njihovo osnovno obdelavo in sporočanje, samodejno umestitev v sistem podatkov GIS Suša in uporabo na spletnem portalu Suša.

Razvit je bil sistem dnevnega prenosa agrometeoroloških podatkov (za pretekli dan) iz ARSO FTP strežnika v bazo Suša. Del podatkov je bil dostopen prek posebnega protokola tudi iz analitičnega strežnika Biotehniške fakultete, kjer so se izvedle prostorske interpolacije in GIS analitični izračun vodne bilance ter drugih parametrov. Rastrski sloji vodnih bilanc so se nato prenesli na interni FTP strežnik podjetja CGS in od tam na spletni portal Suša (Šajn Slak in Ivačič 2009). Za ogled stanja končnih uporabnikov na nivoju GERK-a so bili v spletni portal integrirani tudi GERK sloji. Rezultati so potrdili, da je za specifične analize vezane na kmetijsko pridelavo, obstoječa mreža postaj Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO) pregroba (Gregorič in Sušnik 2004).



Slika 4: Potrebe po vodi a) jare pšenice v 2. dekadi aprila in b) zgodnega krompirja v 2. dekadi julija.



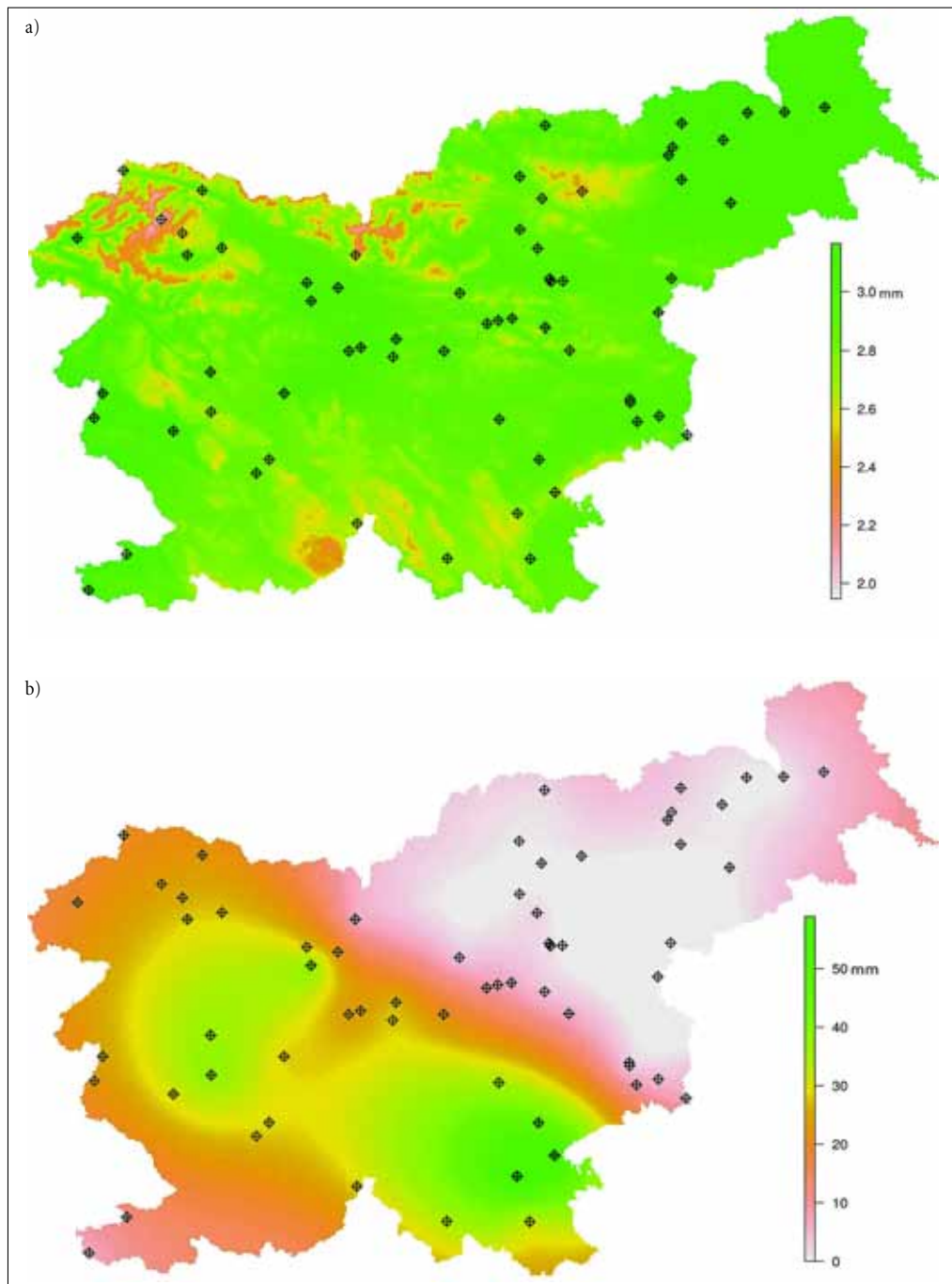
Slika 5: Prikaz bilance vode v tleh na portalu SUŠA za referenčno rastlino (1. dan 23. dekade).

### 3.4 Dopolnitev in verifikacija modela za oceno sušnosti

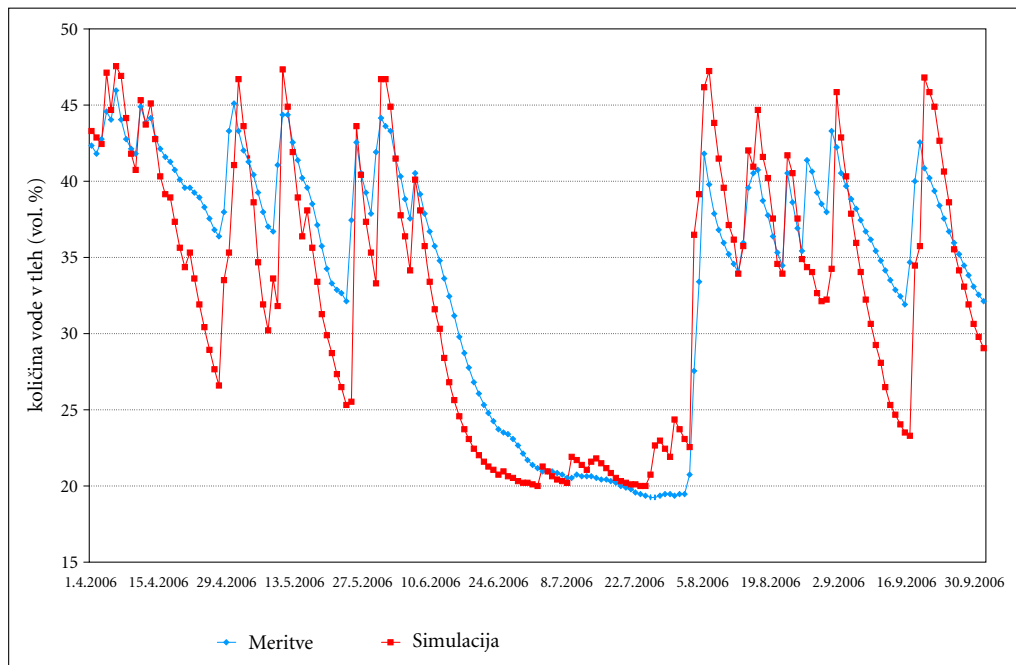
Narejen je bil pregled obstoječih modelov vodne bilance ter njihove adaptacije na razmere v Sloveniji. Ob določitvi dodatnih prostorskih meteoroloških parametrov je sledila izdelava modela za izračun vodne bilance in integracija v algoritme GIS-a.

Glavni rezultat vodno-bilančnega modela je razlika med količino vode v območju korenin za določeno rastlino ter potrebno količino vode v tleh, ki definira mejo sušnega stresa za to rastlino. Razvili smo avtomatiziran postopek prostorske interpolacije potencialne evapotranspiracije ter dnevne višine padavin, ki smo ga s pomočjo geostatistične knjižnice (Pebesma 2004) implementirali v programskem jeziku R. Pri evapotranspiraciji smo uporabili metodo splošnega kriginga z determinističnim delom, pri padavinah pa smo uporabili kombinacijo osnovnega kriginga ter metodo tehtanih drsečih sredin (Cressie 1993). Prostorska interpolacija je problematična predvsem pri višini padavin, saj je dana gostota postaj premajhna, da bi z njo zajeli prostorsko variabilnost padavin (težavne so predvsem konvektivne padavine). Za izboljšavo kvalitete interpoliranih kart bi v nadaljevanju kazalo v izračun vključiti večje število postaj ter radarsko odbojnost pri določevanju empiričnega semivariograma pri osnovnem krigingu (Kastelec in Košmelj 2002; Dolinar 2006). Slika 6 prikazuje primer vizualizacije prostorske interpolacije padavin.

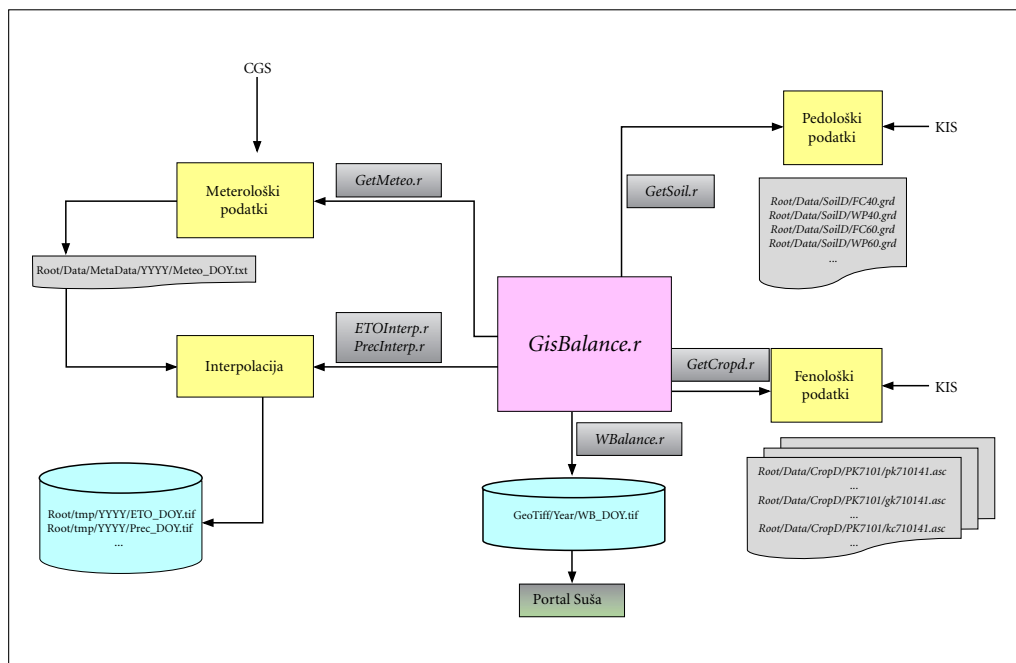
- Izdelava modela za oceno/napovedovanje sušnosti: Izdelan je bil GIS model za izračun vodne bilance kmetijskih rastlin, ki temelji na obstoječih vodno-bilančnih modelih IRRFIB (Matajc 2001) in SIMPEL (Hörmann 2003). Referenčna evapotranspiracija v obeh modelih se nanaša na 12 cm visoko, z vodo dovolj oskrbljeno travo. Referenčna evapotranspiracija služi kot osnova za določitev evapotranspiracije za vsako posamezno kmetijsko rastlino. Prostorski vodno-bilančni model je bil implementiran v programskem jeziku R, narejena pa je bila tudi točkovna validacija, in sicer na lokacijah Bilje ter Murska Sobota za leti 2006 ter 2007. Z vodnobilančnim modelom smo v tem obdobju pravilno zajeli



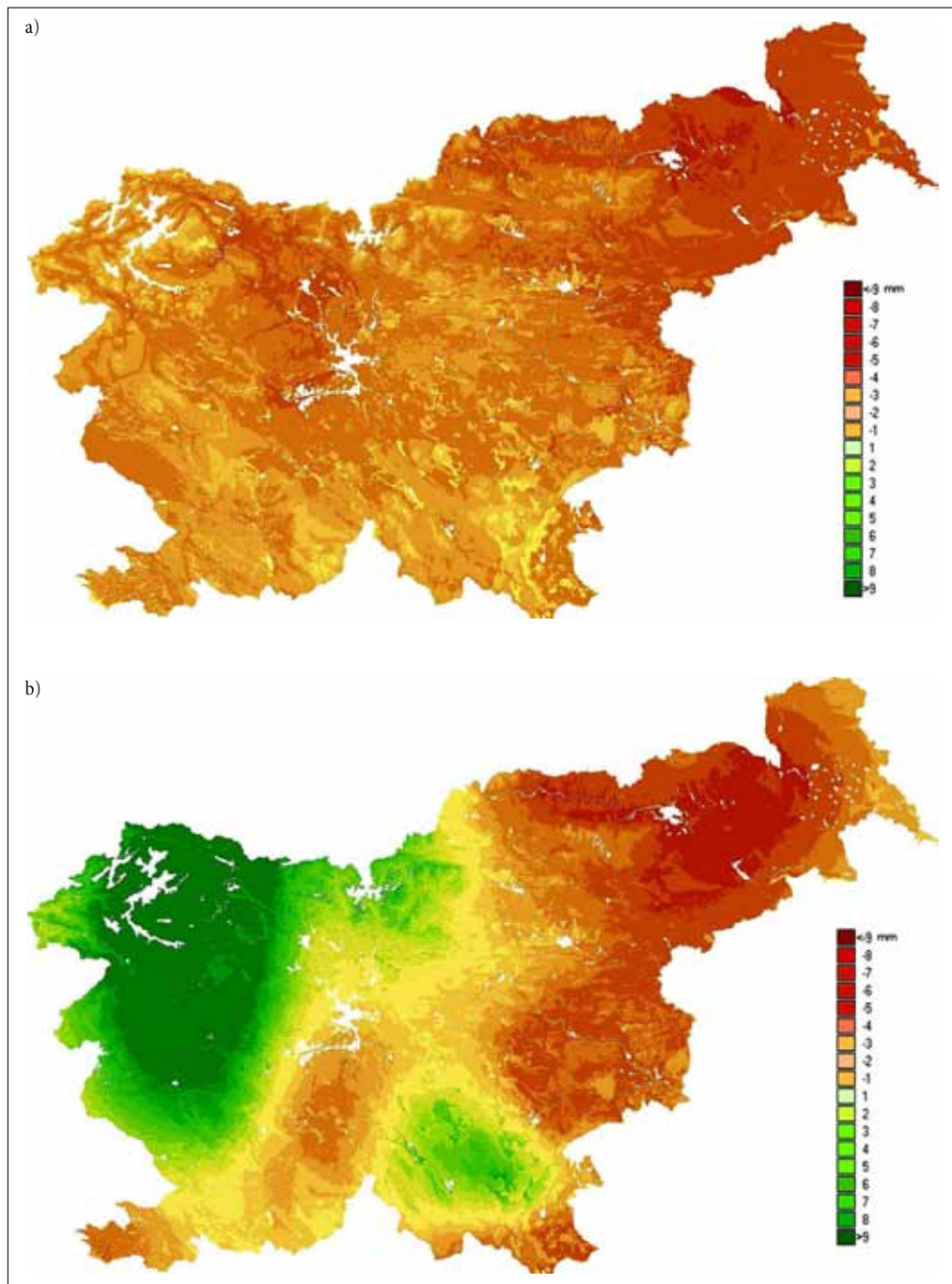
Slika 6: Primer prostorske interpolacije agrometeoroloških spremenljivk, potrebnih za izračun vodne bilance kmetijskih rastlin: a) – referenčna evapotranspiracija in b) – višina padavin po veljavnem modelu.



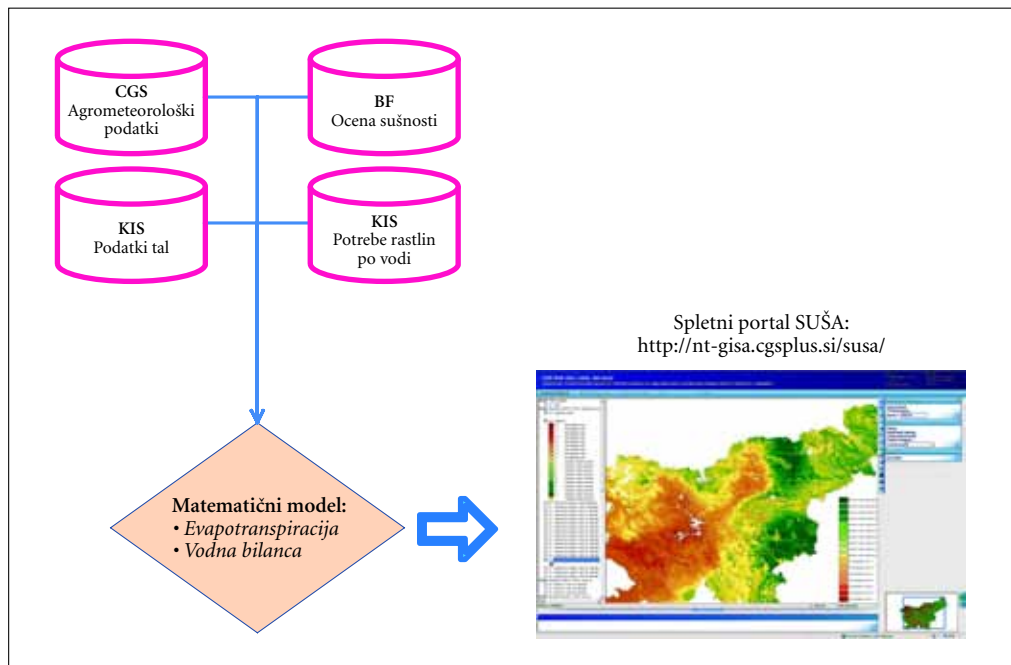
Slika 7: Simulacija vodne bilance ter primerjava z meritvami v vegetacijski sezoni – Bilje 2006.



Slika 8: Shema delovanja programskega paketa za izračun vodne bilance.



Slika 9: Primanjkljaj vode v tleh za referenčno rastlino za 16. 4. 2009 (a) ter dan kasneje (b), ko je zahodno Slovenijo prešla oslABLJENA fronta.



Slika 10: Poenostavljen prikaz GIS sistema za napovedovanje in oceno posledic suše.

dinamiko količine vode v območju korenin za referenčno rastlino. Ob nekaterih vremenskih situacijah smo zaznali nekoliko prehitro sušenje tal, kar je bilo opazno predvsem v Biljah. Slika 7 predstavlja primerjavo med simulirano ter izmerjeno vodno bilanco v Biljah v letu 2006.

- Operacionalizacija modela v GIS-u: Vzpostavili smo operativen model za oceno sušnosti (shema na sliki 8). Kot rezultat izračuna omenjenega modela je georeferenciran raster primanjkljaja vode v coni korenin za kmetijsko rastlino. Primanjkljaj oziroma presežek vode je definiran glede na potrebo rastline po vodi v določeni fenofazi (slika 9).

Rezultati štirih sklopov so bili združeni v celovit GIS za pregledovanje stanja bilance vode v tleh kmetijskih površin (slika 1), napovedovanje in ocenjevanje trenutne sušnosti in, ob uporabi arhivskih podatkov, sušnosti za pretekla obdobja.

Vzpostavljena spletna GIS aplikacija (<http://nt-gisa.cgsplus.si/susa>) nudi pregled podatkov in kart bilanc oziroma vizualizacijo podatkov vodne bilance kmetijskih rastlin, potrebnih za napovedovanje/oceno posledic suše.

## 4 Sklep

Raziskava je primer multidisciplinarnega povezovanja tematsko zelo različnih, raziskovalnih področij ob uporabi različnih tehnologij GIS-ov. Delo je združilo digitalno kartografijo tal in metode modeliranja talnih lastnosti v prostoru na eni, ter uporabo GIS algoritmov in programiranja obdelave podatkov prostora na drugi strani. Prikazan je bil razvoj in uporaba pedotransfer funkcij za napovedovanje lastnosti tal ter uporaba mikroelektronike in senzorike ki so omogočili zasnovano in izvedbo komunikacijskega sistema ter zajema in prenosa geokodiranih podatkov. Tako pridobljeni podatki so bili obdelani v realnem času, končni rezultati pa prikazani na GIS spletnem portalu.



V prispevku sta opisani metodi za izboljšavo podatkov tal ter metoda in postopek za izvajanje prostorsko opredeljenih podatkov kapacitete tal za vodo. Za raziskavo so bile ustvarjene tudi GIS baze podatkov za oceno sposobnosti tal za vezavo vode in GIS model za oceno/napovedovanje sušnosti. Razvit je bil napredni algoritem za oceno/napovedovanje sušnosti, ter povezana nekatera orodja odprte kode v GIS-u. Ustvarjen je bil tudi GIS spletni portal za vizualizacijo vodne bilance in agrometeoroloških podatkov.

## Zahvala

*Prispevek v omejenem obsegu na kratko prikazuje bistvene na GIS vezane vsebine in rezultate CRP projekta Znanje za mir M2-0220. Avtorji se zahvaljujejo Ministrstvu za obrambo Republike Slovenije, Upravi Republike Slovenije za zaščito in reševanje in Agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije. Zahvala velja prav tako sodelavcem vseh treh inštitucij partneric, ki so pripevali k izvedbi projekta.*

## 5 Viri in literatura

- Agencija Republike Slovenije za okolje 2009: Arhiv meteoroloških in fenoloških podatkov. Medmrežje: <http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/knji%C5%BEnica/mese%C4%8Dni%20bilten> (19. 12. 2009).
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. 1998: Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome.
- Cressie, N. 1993: Statistics for spatial data. Wiley.
- Dolinar, M. 2006: Prostorska interpolacija konvektivnih padavin v uporabo radarskih in prizemnih meritev. Magistrsko delo. Fakulteta za matematiko in Fiziko. Ljubljana.
- Gregorič, G., Sušnik, A. 2004: Vključevanje mrež za posebne obratovalne monitoringe v skupen meteorološki informacijski sistem. Ranljivost slovenskega kmetijstva in gozdarstva na podnebno spremenljivost in ocena predvidenega vpliva. Ljubljana.
- Hörmann, G. 2003: SIMPEL – A family of simple soil water models. Medmrežje: [http://www.hydrology.uni-kiel.de/čsorsch/simpel/englisch/simpel\\_english.pdf](http://www.hydrology.uni-kiel.de/čsorsch/simpel/englisch/simpel_english.pdf) (20. 01. 2009)
- Kajfež-Bogataj, L., Kurnik, B. 2004: Enostavne metode za izračun referenčne evapotranspiracije. Novi izzivi v poljedelstvu 2004. Ljubljana.
- Kastelec, D., Košmelj, K. 2002: Statistical Interpolation of Mean Yearly Precipitation using Universal Kriging. Developments in Statistics. Metodološki zvezki 17. Ljubljana.
- Kurnik, B. 2001: Primerjava različnih metod za izračun referenčne evapotranspiracije v Sloveniji. Diplomsko delo. Fakulteta za matematiko in fiziko. Ljubljana.
- Matajc, I. 2001: Summary on the IRRFIB model. Agencija Republike Slovenije za okolje. Medmrežje: <http://agromet-cost.bo.ibimet.cnr.it/fileadmin/cost718/.../irrfib.pdf> (20. 01. 2009).
- Pebesma, E. J. 2004: Multivariable geostatistics in S: the gstat package. Computers & Geosciences 30.
- Šajn-Slak, A., Ivačič, I. 2009: Vzpostavitev sistema multidisciplinarnih informacij prostora za napovedovanje in ocenjevanje škod po naravnih nesrečah v kmetijstvu. Ciljni raziskovalni program Znanje za varnost in mir 2006–2010: projekt M2-0220: končno poročilo. Delovni sklop 3, Agrometeorološki podatki v realnem času. Kmetijski inštitut Slovenije. Ljubljana.
- Vernik, T., Bergant, J., Vrščaj, B., Čuden, I. 2009: Vzpostavitev sistema multidisciplinarnih informacij prostora za napovedovanje in ocenjevanje škod po naravnih nesrečah v kmetijstvu. Ciljni raziskovalni program Znanje za varnost in mir 2006–2010: projekt M2-0220: končno poročilo. Delovni sklop 2, Potrebe rastlin po vodi. Kmetijski inštitut Slovenije. Ljubljana.
- Vrščaj, B., Vernik, T., Bergant, J., Čuden, I. 2009: Vzpostavitev sistema multidisciplinarnih informacij prostora za napovedovanje in ocenjevanje škod po naravnih nesrečah v kmetijstvu. Ciljni raziskovalni program Znanje za varnost in mir 2006–2010: projekt M2-0220: končno poročilo. Delovni sklop 1, Izboljšava podatkov tal. Kmetijski inštitut Slovenije. Ljubljana.

## PRIMERJAVA METOD KARTIRANJA PROMETNIH NEZGOD

**mag. Vasja Bric, mag. Katja Oven, dr. Dalibor Radovan**

Geodetski inštitut Slovenije

vasja.bric@gis.si, katja.oven@gis.si, dalibor.radovan@gis.si

UDK: 528.9:614.86

### IZVLEČEK

#### **Primerjava metod kartiranja prometnih nezgod**

Za vse prometne nezgode z večjo materialno škodo, hujšimi poškodbami ali smrtnim izidom morajo policisti narediti načrt prometne nezgode. Načrt se lahko izdelata z različnimi metodami. To so: meritve s trakom, geodetske meritve, uporaba fotogrametrije in lasersko skeniranje. Vsaka od metod ima svoje prednosti in slabosti. Izbira metode je odvisna od več zahtev, kot so: natančnost, hitrost, ponovljivost, trajnost, enostavnost in ekonomičnost. V Sloveniji se večinoma uporablja meritev s trakom, ki je zamudna, manj natančna in ima še druge pomanjkljivosti. Za testno vpeljavo v praktično delo policistov je bila izbrana fotogrametrična metoda.

### KLJUČNE BESEDE

prometna nezgoda, kartiranje, načrt, metoda, fotogrametrija, lasersko skeniranje

### ABSTRACT

#### **Comparison of traffic accident mapping methods**

All traffic accidents with large damage, serious physical injuries and fatal accidents have to be mapped by the police. Different mapping methods can be used. These methods are: tape measurements, geodetic survey measurements, photogrammetry and laser scanning. Each method has advantages and disadvantages. Which method would be used depends from several requirements like: accuracy, speed, repetitivity, durability, simplicity and economy. In Slovenia tape measurements are mainly used. They are time consuming, less accurate and have some other disadvantages. For purpose of testing in practical police work the photogrammetric method was chosen.

### KEY WORDS

traffic accident, mapping, map, method, photogrammetry, laser scanning

## 1 Motivacija

Za uspešno zmanjševanje števila prometnih nezgod je treba dobro poznati vzroke za njihov nastanek. Vzroke večinoma lahko iščemo pri udeležencih, vozilih in prometni infrastrukturi. Če poznamo vzroke za nastajanje prometnih nezgod, se lahko osredotočimo na njihovo odpravljanje.

Iskanje vzrokov prometnih nezgod je velikokrat zelo zahtevna naloga in zato je treba uporabiti znanje strokovnjakov z različnih področij. Pred odstranitvijo materialnih dokazov je treba hitro pridobiti čim več pomembnih podatkov in jih urediti tako, da pokažejo čimbolj objektivno sliko dogajanja v času nezgode. Ti podatki ne služijo le pridobivanju informacij o vzrokih prometne nezgode, pač pa vplivajo tudi na sodne postopke dokazovanja krivde oziroma nekrivde udeležencev. Torej je potrebna velika vestnost in natančnost (Zajc 1993) pri pridobivanju podatkov na mestu prometne nezgode. Za pridobitev teh podatkov so zadolženi policisti, pri težjih nezgodah pa skupaj z njimi tudi preiskovalni sodniki. Kasneje pa so v pridobivanje podatkov lahko vključeni še sodni izvedenci (Čertanc 2005) in drugi strokovnjaki.

Poleg osnovnih podatkov o udeležencih, vozilih in prometni infrastrukturi je treba iskati tudi manj očitne podatke, ki pa so lahko odločilni. Tak detalj je npr. odgovor na vprašanje, v kateri prestavi je bila prestavna ročica poškodovanega vozila, ali pa, kako dolga je sled pnevmatik po zaviranju. Iz postavljenih vprašanj sklepamo na dve vrsti podatkov, ki jih zbiramo, to so semantični in geometrični podatki.

V načrt prometne nezgode (slika 2) vnesemo geometrične in nekatere semantične podatke. Načrt mora vsebovati podatke o nesreči, cesti, vozilih in udeležencih in z njimi povezanih spremenljivkami (medmrežje 1). Na načrt se poleg grafike vpišejo še osnovni podatki o nezgodi, vznikih in udeležnih vozilih, ki služijo za povezovanje z drugimi semantičnimi podatki.

Za izdelavo načrta prometne nezgode je mogoče uporabiti različne metode. Uporabljajo se štiri osnovne metode in sicer: meritve s trakom, uporaba geodetskega instrumenta, fotogrametrična metoda in lasersko skeniranje. Vsaka od naštetih metod ima prednosti in slabosti.

## 2 Metode kartiranja prometnih nezgod

Opravili smo primerjave med različnimi metodami kartiranja prometnih nezgod, kjer smo zasledovali predvsem naslednje lastnosti metod:

- natančnost – ali je uporabljena metoda dovolj natančna,
- hitrost – kako hitro je mogoče zajeti podatke na terenu, in s tem omogočiti skrajšanje zapor prometa,
- ponovljivost – ali lahko iz zajetih podatkov naknadno in neodvisno ponovi meritve še kdo drug,
- trajnost – ali je mogoče iz zajetih podatkov pridobiti dodatne informacije še čez leta,
- enostavnost – ali je metoda dovolj enostavna, da vsaj terenski del lahko opravi samostojno en policist,
- ekonomičnost – ali je oprema cenovno dostopna vsem, ki se dnevno ukvarjajo z obravnavo prometnih nesreč.

*Preglednica 1: Primernost uporabe metode glede na posamezne lastnosti.*

lastnost/metoda	meritve s trakom	geodetska metoda	fotogram. metoda	lasersko skenir.
natančnost	da	da	da	da
hitrost	ne	da	da	da
ponovljivost	ne	ne	da	da
trajnost	ne	ne	da	da
enostavnost	da	ne	da	da
ekonomičnost	da	ne	da	ne

### 3 Meritve s trakom

Pri ročni metodi uporabljamo predvsem merski trak (slika 1), lahko pa tudi mersko kolo ali ročni laserski razdaljemer. Pri tej metodi, lahko bi ji rekli tudi ortogonalna izmera, najprej določimo izhodiščno linijo (Traffic Accident Study Guide 2010), od katere potem merimo pravokotne razdalje do detajlov, ki jih želimo kartirati. Izhodiščno linijo je potrebno določiti v prostoru z dvema točkama, ki ju zavarujemo z vsaj dvema meritvama do trajnih dobro definiranih objektov. Točki služita tudi kot izhodišče meritev vzdolž izhodiščne linije. Za vsako točko, ki jo kartiramo, je potrebno v skico vnesti dve razdalji, eno vzdolž izhodiščne linije in drugo pravokotno nanjo.

Slabosti:

- izmera in zapis dveh razdalj na terensko skico za posamezno točko je lahko vir grobih napak,
- natančna meritev s trakom zahteva veliko časa in delo dveh policistov,
- meritve niso ponovljive; če pri meritvah nekaj pozabimo izmeriti, tega običajno kasneje ne moremo domeriti,
- pri izdelavi terenske skice je potrebno biti zelo pazljiv, saj poleg grafike in semantičnih podatkov o nezgodi vsebuje veliko število meritev s trakom.

Prednosti:

- uporablja se enostavna, cenejša in vedno uporabna oprema,
- postopki meritev so enostavni in ne potrebujejo posebnega izobraževanja,
- metodo je mogoče uporabiti tudi v slabih svetlobnih in vremenskih razmerah.



Slika 1: Fotografija prometne nezgode na ljubljanski obvoznici.

### 4 Geodetska metoda

Uporablja se geodetski inštrument, ki omogoča zelo natančne meritve. Končna natančnost načrta je odvisna predvsem od natančnosti postavitve odbojne prizme na meritveno točko in ne od natančnosti inštrumenta. Grafični del načrta prometne nezgode se lahko dokonča že na kraju nezgode, naknadno se vpišejo le še semantični podatki.

Slabosti metode:

- za izvedbo postopka in uporabo geodetskega inštrumenta je potrebno dodatno izobraževanje,
- oprema je draga in težko dostopna vsem, ki se dnevno ukvarjajo s kartiranjem prometnih nezgod,
- meritve niso ponovljive; če pri meritvah nekaj pozabimo izmeriti, tega običajno kasneje ne moremo domeriti
- ker je na kraju prometne nezgode potrebno izmeriti vsako točko posebej, je metoda hitrejša le od meritve s trakom,
- razen pri uporabi inštrumenta, ki avtomatsko sledi merski prizmi in je ustrezno dražji, sta za izvedbo metode potrebna dva policista.

Prednosti metode:

- metoda je zelo natančna,
- po končani meritvi je grafični del načrt že skoraj dokončan.

Geodetska metoda je v nekaterih razvitih državah (Jacobsen s sodelavci 1992) precej razširjena predvsem za kartiranje prometnih nezgod s težjimi poškodbami in smrtnimi izidi. V Sloveniji ni bila metoda nikoli uporabljena pri kartiranju dejanskih prometnih nezgod.

## 5 Fotogrametrična metoda

Za izvedbo fotogrametrične metode je potreben fotoaparatus, nekaj fotogrametričnih tarč, enostavno mersko orodje za merjenje dolžin in programska oprema za orientacijo ter izvednotenje posnetkov.



Slika 2: Načrt prometne nezgode na ljubljanski obvoznici izrisan na ortofotu.

Natančnost je slabša kot pri geodetski metodi, vendar boljša in precej bolj homogena kot pri ročni meritvi s trakom (Xinguang s sodelavci 2009). Po fotografiranju območja nezgode po posebnem postopku, se izdelava načrta prometne nezgode skoraj v celoti prenese v pisarno. Fotografije se najprej orientirajo, tako da dobijo pravilen medsebojni položaj v prostoru in nato izvednotijo, t. j. na podlagi fotografij se izrišejo pomembni detajli. V pisarni se fotogrametrična skica s pomočjo terenske skice in kartografske obdelave dopolni do končnega izdelka načrta prometne nezgode (slika 2).

Slabosti metode:

- oteženo fotografiranje pri slabih svetlobnih pogojih (npr. ponoči),
- slabša vidljivost sledi zaviranja vozil na fotografijah narejenih v slabih vremenskih pogojih (npr. ob močnem deževju ali sneženju).

Prednosti metode:

- hiter zajem podatkov na kraju prometne nezgode,
- celoten zajem podatkov lahko opravi en policist,
- postopek in oprema so manj zahtevni za uporabo kot pri geodetski metodi ali laserskem skeniranju,
- osnovno delovno orodje na terenu je fotoaparatus, ki ga policisti potrebujejo tudi pri ostalih metodah
- oprema je nekajkrat cenejša kot pri geodetski metodi in laserskem skeniranju,
- meritev na podlagi fotografij je ponovljiva in trajna,
- večino dela pri izdelavi načrta prometne nezgode se prenese s terena v pisarno.

Na območju Slovenije smo metodo testno uporabili na dejanskih primerih z namenom kartiranja prometne nezgode prvič v letu 2009 (slika 2). V svetu je precej razširjena (Fahlbusch 1997; McCoy s sodelavci 1998; Lucas 1999; Harvey 1999; Fraser s sodelavci 2005), še bolj pa metoda pridobiva na veljavi ob vpeljavi digitalnih fotoaparatus v vsakdanje delo policistov.

## 6 Laserska metoda

Laserska metoda (Pagounis s sodelavci 2006) se vse več uporablja pri kartiranju prometnih nezgod, še posebej v tistih državah, kjer že uporabljajo geodetsko metodo oziroma, kjer imajo na voljo dovolj sredstev za drago opremo. Oprema je še dražja od geodetskega inštrumenta, vendar manj zahtevna za upravljanje. Metoda je po natančnosti primerljiva z geodetsko metodo, vendar veliko hitrejša pri zajemu podatkov (Kmetič 2008). Obdelava podatkov podobno kot pri fotogrametrični metodi poteka v pisarni, je pa tehnično zahtevnejša. Zajem podatkov je daljši kot pri fotogrametrični metodi.

Slabosti:

- oprema je draga,
- zahteva drago vzdrževanje,
- velikost in teža inštrumenta zahtevata pazljivo uporabo na terenu,
- večja količina podatkov pogojuje dražjo opremo za obdelavo le teh,
- zaradi drage opreme je težko zagotoviti, da bi opremo uporabljali vsi policisti, ki se dnevno ukvarjajo s kartiranjem prometnih nezgod.

Prednost:

- metoda je zelo natančna,
- hiter zajem podatkov in možnost pisarniške obdelave podatkov,
- z inštrumentom lahko upravlja en policist,
- meritev na podlagi oblaka laserskih točk je ponovljiva in trajna.

Laserske metode, razen v demonstrativne namene, v Sloveniji še nismo izvajali. Zelo verjetno bo v prihodnosti pridobivala na veljavi, ko bodo laserski skenerji cenejši in bo avtomatska obdelava podatkov še izboljšana.

## 7 Primerjava metod

Glavna prednosti fotogrametrične metode pred ročno (McCoy s sodelavci 1998) in geodetsko metodo je, da so fotografije, ki jih izvedemo na ogledu kraja prometne nezgode na voljo še dolgo po nezgodi. Uporaba fotografij omogoča kasnejše domeritve, kar pri ostalih dveh metodah ni izvedljivo. Trajnost in objektivnost izvornih podatkov omogoča tudi ponovitev meritve neodvisnih strokovnjakov, ki je v sodnih procesih včasih ključnega pomena.

Da bi zmanjšali možnost zlorabe digitalnih fotografij, je potrebno določiti natančen protokol njihovega shranjevanja, zavarovanja in uporabe od zajema do arhiviranja primera. Protokol je zelo podoben kot pri shranjevanju in zavarovanju vseh drugih digitalnih podatkov, ki se uporabljajo pri zbiranju in obdelavi podatkov ob prometnih nezgodah ali drugih policijskih postopkih.

Prednost fotogrametrične metode v primerjavi z laserskim skeniranjem je predvsem v rokovanju in ceni opreme, v manjši količini podatkov in manj zapleteni obdelavi. Skupna cena opreme za izvajanje fotogrametrične metode za vse policijske ekipe v Sloveniji, ki se vsakodnevno prednostno ukvarjajo s prometnimi nezgodami, je približno enaka ceni enega laserskega skenerja.

Nekateri boljši skenerji so opremljeni tudi s fotoaparati, poleg fotografije se kot osnovni podatek registrira oblak točk, ki ga je potrebno naknadno obdelati. Količina zajetih podatkov pri laserskem skeniranju je večja kot pri fotogrametrični metodi, kar zahteva večjo procesorsko moč in dražjo programsko opremo.

Hitrost fotografiranja v primerjavi s laserskim skeniranjem je večja, je pa potrebno izvesti več fotografij, kot je število stojišč za skener. Z vsakega stojišča skeniranja dobimo 3D podatke, medtem ko moramo pri fotogrametričnem postopku uporabiti najmanj dve fotografiji, da naknadno lahko izračunamo orientacijo in nato izrišemo še situacijo. Pri obeh metodah obstajajo mrtvi koti za vozili, zaradi katerih je potrebno povečati število stojišč oziroma fotografij.

Pri obeh postopkih, tako fotogrametričnem, kot tudi pri laserskem skeniranju, je potrebno večdnevno teoretično in praktično izobraževanje ter večtedensko uvajanje ob vsakodnevnem delu policistov. Postopke obeh metod je mogoče in potrebno optimizirati, še posebej to velja za pisarniški del.

## 8 Sklep

Odločitev o izbiri metod kartiranja prometnih nezgod je odvisna predvsem od hitrosti zajema podatkov na terenu in od razpoložljivih sredstev za nabavo opreme. Hitrejši metodi sta fotogrametrična in lasersko skeniranje, oprema pa je dostopnejša za fotogrametrično metodo. Glede na trenutne okoliščine v Sloveniji in na podlagi srednjeročnih predvidevanj smo predlagali fotogrametrično metodo, ki smo jo že začeli tudi testno uvajati.

## Zahvala

*Projekt kartiranja prometnih nezgod s fotogrametrično metodo je financirala Direkcija Republike Slovenije za ceste, pri testiranju metode pa je sodelovala Policija. Zahvaljujemo se tudi Postaji prometne policije Ljubljana, kjer so nam omogočili poskusno izvajanje metode.*

## 9 Viri in literatura

- Cooner, S., Balke, K. N. 2000: Use of Photogrammetry for Investigation of Traffic Incidents Scenes. Austin.
- Čertanc, N. 2000: Izvedenstvo prometne stroke. Pravosodni bilten 21-2.
- Fahlbusch, J. 1997: Photogrammetry as a Means of Measuring as Used by the Police. 4<sup>th</sup> International RolleiMetric Police Workshop. Neuss.
- Fraser, C., Hanley, H., Cronk, S. 2005: Close-range Photogrammetry for Accident Reconstruction. Medmrežje: <http://www.photometrix.com.au/downloads/iWitness/Photogramm%20for%20AR-2005.pdf> (10. 3. 2010)
- Harvey, A. 1999: Photogrammetric plans of large scale motoeway accident scene. 5<sup>th</sup> International RolleiMetric Police Workshop. Neuss.
- International Association of Chiefs of Police and the Federal Law Enforcement Training Center: Traffic Accident Study Guide 2010 – Section Seven. Medmrežje: <http://www.learningforlife.org/exploring/lawenforcement/study/traffic7.pdf> (15. 4. 2010).
- Jacobsen, L. N., Legg, B., O'Brien, A. 1992: Incident management using total stations. Final report. Research Project GC8719, Task 20. Washington State Transportation Center. Seattle.
- Kmetič, N. 2008: Fotogrametrični zajem in obdelava podatkov za izdelavo 3D modela prizorišče prometne nesreče. Diplomsko delo. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana.
- Lucas, P. 1999: Presentation: Technicaland Accidents Department, Police Department of the Rotterdam-Rijnmond Region. 5<sup>th</sup> International RolleiMetric Police Workshop. Neuss.
- McCoy, P., Seth, S., Reichenbach, S., Samal, A. 1998: Digital Camera Traffic Accident Investigation System. Transportation Conference Proceedings. Lincolln.
- Medmrežje 1: [http://ec.europa.eu/transport/wcm/road\\_safety/erso/safetynet/fixed/WP1/D1.14%20CADaS\\_The%20Common%20Accident%20Data%20Set\\_Final%20report\\_2.pdf](http://ec.europa.eu/transport/wcm/road_safety/erso/safetynet/fixed/WP1/D1.14%20CADaS_The%20Common%20Accident%20Data%20Set_Final%20report_2.pdf) (2. 5. 2010).
- Medmrežje 2: [http://www.precisionsim.com/files/NewsLet\\_Vol2\\_NewToolsLitigationEMAIL.pdf](http://www.precisionsim.com/files/NewsLet_Vol2_NewToolsLitigationEMAIL.pdf) (7. 2. 2010).
- Pagounis, V., Tsakiri, M., Palaskas, S., Biza, B., Zaloumi, E. 2006: 3D Laser Scanning for Road Safety and Accident Reconstruction. Shaping the Change XXIII FIG Congress. Munich.
- Xingung, D., Xianlong, J., Xiaoyun, Z., Jie, S., Xinyi, H. 2009: Geometry features measurements of traffic accident for reconstruction based on close range photogrammetry. Šangaj.
- Zajc, L. 1993: Preiskovanje hudih prometnih nezgod s pobegi. Revija Policija 3. Ljubljana.





# ANALIZA ODZIVNOSTI INTERVENCIJSKIH ENOT, VPLIVNIH OBMOČIJ IN DOSEGLJIVOSTI HIDRANTOV V PRIMERU POŽARA ALI EKSPLOZIJE V OBJEKTIH

**Simon Starček**

*Ciril Metodov drevored 17, 2250 Ptuj*

*simon.starcek@gov.si*

UDK: 614.842(497.4Ptuj)

659.2:004:91

## IZVLEČEK

### **Analiza odzivnosti intervencijskih enot, vplivnih območij in dosegljivosti hidrantov v primeru požara ali eksplozije v objektih**

Sistem zaščite in reševanja je eno od prioritarnih področij vsake razvite države. Uporaba prostorskih podatkov in tehnologije geografskih informacijskih sistemov na tem področju je v Sloveniji še v povojih. V okviru raziskave smo izvedli prostorske analize za primer požara in eksplozije v objektih posebnega pomena na krajevni ravni. Ugotavljali smo potreben nabor prostorskih in drugih podatkov za določitev in analizo območij odgovornosti posameznih gasilskih enot in območij časovnih odzivnosti le-teh v primeru kriznega dogodka. Analizirali smo optimalne poti do objektov posebnega pomena, ustreznost lokacij hidrantov v njihovi okolici in vplivna območja v primeru požara ali eksplozije. Rezultati raziskave so tudi osnova izgradnje GIS-a za potrebe intervencijskih enot.

## KLJUČNE BESEDE

*prostorski podatki, prostorske analize, tehnologija GIS, krizno ukrepanje, mestna občina Ptuj*

## ABSTRACT

### **Analysis of intervention teams response, areas of influence and the availability of hydrants in the event of fire or explosion in buildings**

A protection and rescue system is one of the priority areas of every developed country. The use of spatial data and Technology of Geographic information system in Slovenia is still in the beginnings. We made spatial analysis in a case of fire and explosion in buildings of special interest on a local level. In the study we established the necessary spatial and other data to identify and analyze areas of responsibility of fire-fighting teams and areas of intervention time response in disaster recovery. We analyzed the optimal ways to reach the buildings of special interest, relevance of hydrant locations in their surrounding area and areas of influence in case of fire or explosion. The survey results constitute a basis for the construction of GIS for intervention units.

## KEY WORDS

*spatial data, spatial analysis, echnology of GIS, chrisis response, the Municipality of Ptuj*

## 1 Uvod

Obvladovanje kompleksnega in relativno hitro spreminjajočega se okolja skorajda ni več mogoče brez ustrezne geoinformacijske podpore, kjer so ključni dejavniki, ob ustrezni tehnologiji, človeških virih in znanju, prostorski podatki (ESRI 2000). Tehnologija geografskih informacijskih sistemov (GIS) postaja eden temeljnih podpornih mehanizmov na področju zaščite in reševanja po vsem svetu. Uporabna je pri zagotavljanju ustrezne pripravljenosti, izobraževanju, preventivnem delovanju, organizaciji ukrepanja ob kriznih dogodkih, analizi tveganj in odpravljanju posledic (Kohvakka 2008).

V okviru raziskave so bile na območju mestne občine Ptuj izdelane prostorske analize povezane s požarnimi dogodki in eksplozijami v objektih. V raziskavi smo se omejili na prostorske analize za objekte posebnega pomena, ki imajo najvišjo raven tveganja v primeru požara ali eksplozije (vrtce, šole, dijaški dom, bolnišnico, dom za ostarele občane, zdravstveni dom, bencinske servise, objekte za šport in rekreacijo, kino in gledališče – kritični objekti). Vseh kritičnih objektov, zajetih v analizi, je bilo 39. Kritične točke, ki jih je skupaj 216 in po večini predstavljajo stavbe v starem mestnem jedru, smo določili na podlagi tipa in starosti stavb (več kot 100 let), dostopnosti z gasilskimi vozili, medsebojne oddaljenosti (manj kot 2,5 m) in požarne ogroženosti (visoka požarna ogroženost). Digitalizirali smo tudi območja odgovornosti prostovoljnih gasilskih društev (PGD).

V okviru raziskave smo želeli analizirati potencialna tveganja in vplivna območja v primeru požara v kritičnih objektih in kritičnih točkah. Pri izvedbi raziskave smo sledili predvsem naslednjim ciljem:

- ugotoviti, kakšna je obremenjenost posameznih prostovoljnih gasilskih društev v mestni občini Ptuj glede na tip in število stavb na njihovem območju pristojnosti, število prebivalcev, število kritičnih točk in objektov, velikost območja, število preteklih kriznih dogodkov, virov tveganj (nevarne snovi, poplavna območja, zaščiteni območja) idr. ter izračunati soodvisnosti med obravnavanimi spremenljivkami,
- določiti vplivno območje v primeru eksplozije v kritičnih objektih,
- določiti optimalne poti gasilskih enot do kritičnih objektov,
- določiti in analizirati območja do 1, 3, 5 in več kot 5 minutne časovne odzivnosti gasilskih enot in
- geolocirati in analizirati ustreznost lokacij hidrantov ter dosegljivost vodnih virov iz hidrantnega omrežja v primeru požara v kritičnih objektih in kritičnih točkah.

Za izvedbo prostorskih analiz smo uporabili naslednje podatkovne sloje:

- geolokacije požarnih dogodkov med leti 2005 in 2008 (medmrežje 1),
- območja odgovornosti prostovoljnih gasilskih društev,
- podatke o kritičnih objektih in kritičnih točkah iz Registra nepremičnin, Katastra stavb, Registra hišnih števil, Registra prostorskih enot, Registra zemljepisnih imen, Zbirnega katastra gospodarske javne infrastrukture,
- lokacije prostovoljnih gasilskih društev,
- podatke o meji občine,
- digitalne barvne ortofoto načrte DOF5, temeljne topografske načrte in topografske podatke merila 1 : 5000,
- podatke o poplavnih in zaščitenih območjih (medmrežje 2),
- podatke o cestnem omrežju in prometni obremenitvi cest (medmrežje 3),
- podatke o številu in starosti prebivalcev iz Centralnega registra prebivalstva in
- podatke o hidrantnem omrežju v Mestni občini Ptuj.

Obdelavo in analizo podatkov ter predstavitev rezultatov smo opravili s programskim paketom ESRI ArcGIS, različica 9.3.

## 2 Analiza območij pristojnosti posameznih PGD

Na območju Mestne občine Ptuj deluje devet PGD-jev, pri čemer je osem od teh operativnih in odgovornih za izvedbo občinske javne gasilske službe. Na podlagi podatkov Mestne občine Ptuj (Odlok o gasilski ... 2008) smo digitalizirali območja pristojnosti posameznih PGD-jev. Ob tem smo izvedli analize obremenjenosti PGD-jev na podlagi števila prebivalcev, števila in lastnosti objektov, števila kri-

tičnih objektov in kritičnih točk ter preteklih kriznih dogodkov. Med leti 2005 in 2008 je bilo v Mestni občini Ptuj skupaj 539 dogodkov, v okviru katerih je sodelovalo 5232 gasilcev (medmrežje 1).

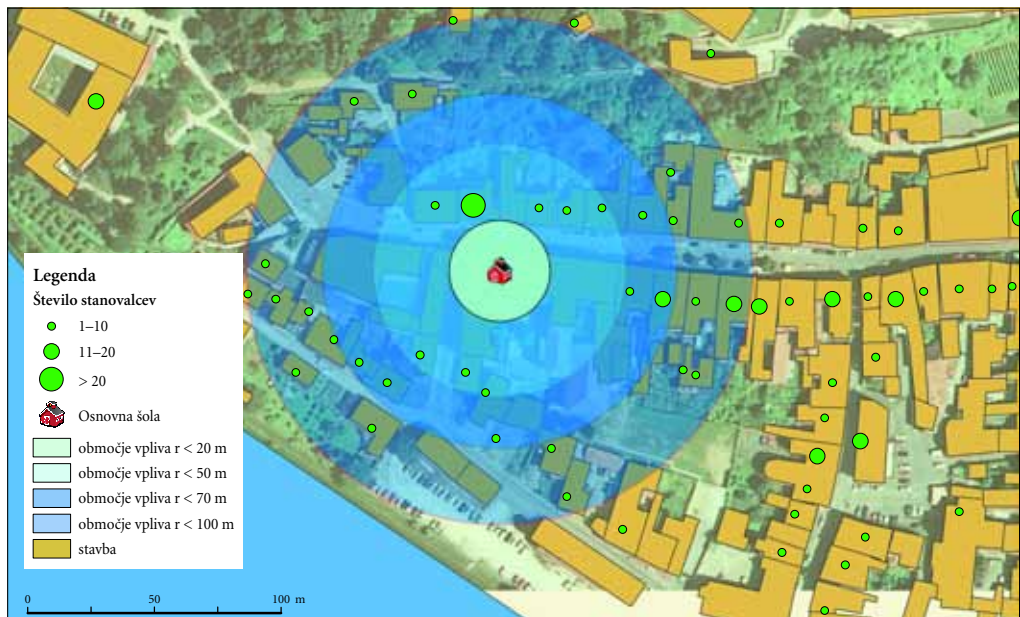
Na območju pristojnosti PGD Ptuj stoji večina kritičnih objektov (37) in so vse kritične točke. Na podlagi določitve geolokacij preteklih požarnih dogodkov ugotovimo, da je večina le-teh v urbanih območjih občine, kjer je požarna ogroženost največja. Največ dogodkov, kjer so posredovale gasilske enote, se je v obdobju 2006–2008 zgodilo na območju pristojnosti PGD Ptuj, in sicer 432 ali 80 % vseh dogodkov. Pri tem je sodelovalo skupaj 3999 gasilcev. Podrobneje smo analizirali tudi kategorije prebivalcev in lastnosti stavb na območjih posameznih PGD.

### 3 Analiza vplivnih območij kritičnih objektov v primeru eksplozije

Analiza vpliva kriznega dogodka na okolico je za intervencijske enote izjemnega pomena. Podatki so pomembni z vidika priprav evakuacijskih načrtov, načrtov omejevanj nadaljnjih širjenj, ocene tveganj, aktiviranja zadostnega števila reševalcev, razporeditve intervencijskih vozil idr. V raziskavi smo analizirali potencialno ogroženost in vpliv na okolico v primeru močnejših eksplozij v kritičnih objektih v 20, 50, 70 in 100 m vplivnem območju.

Preglednica 1: Vplivno območje in število potencialno prizadetih stavb in prebivalcev v primeru eksplozij.

vplivno območje	število prizadetih stavb	število prizadetih prebivalcev
do 20 m	62	16
do 50 m	217	383
do 70 m	354	1140
do 100 m	658	2097



Slika 1: Analiza vplivnega območja v primeru eksplozije.

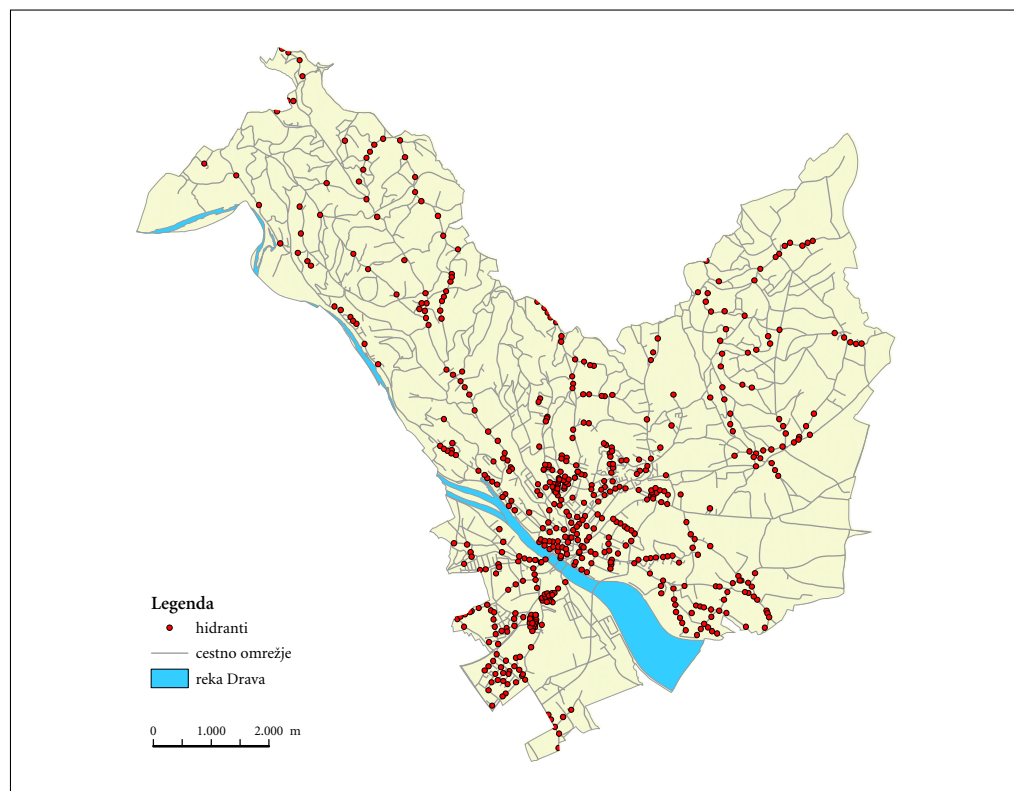
## 4 Analiza prostorske pokritosti s hidrantsnim omrežjem

Posebno pozornost smo namenili analizi hidrantsnega omrežja. Hidrantsno omrežje je namenjeno zadostni oskrbi z vodo v primeru požara in drugih nesreč. Razdalja med hidranti je določena tako, da je mogoče požar gasiti s pomočjo vira iz najmanj enega hidranta, za požarno zelo zahtevne stavbe pa najmanj iz dveh hidrantov. Razdalja med hidrantoma ne sme biti večja od 80 m, če požarna obremenitev presega  $2000 \text{ MJ/m}^2$ , pa je razdalja lahko največ 50 m. V četrtih, kjer prevladujejo stanovanjski objekti, je lahko največja razdalja med hidranti 150 m. Razdalja med hidrantom in posamezno stanovanjsko stavbo ne sme biti manjša od 5 m in ne večja od 80 m (Grm s sodelavci 2005).

Prostorsko lokacijo hidrantov v Mestni občini Ptuj smo določili na podlagi podatkov upravljavca hidrantsnega omrežja. Vseh hidrantov (nadzemnega in podzemnega tipa) je 549. Slika 2 prikazuje lokacije hidrantov v mestni občini Ptuj.

Izdelali smo analizo dosegljivosti kritičnih objektov in kritičnih točk iz obstoječega hidrantsnega omrežja. V raziskavi smo izbrali 50 in 70 m območja oddaljenosti hidrantov od obravnavanih objektov. 70 m območja (in ne 80 m, kot je dovoljeno) smo izbrali zaradi pogostega nezadostnega tlaka v hidrantsnem omrežju.

Iz preglednice 2 je razvidno, da so zunaj 70 m območja dosegljivosti hidrantsnega omrežja bolnišnica, zdravstveni dom, trije vrtci, gledališče (ki je v starem mestnem jedru, kjer je največja požarna ogroženost) in šola. V starem mestnem jedru so lokacije hidrantov večinoma ustrezne, saj so dosegljive vse kritične točke razen mestnega stolpa in gledališča. Hidranti so medsebojno oddaljeni v okviru



Slika 2: Hidrantsno omrežje v mestni občini Ptuj.

Preglednica 2: Dosegljivost kritičnih objektov s hidrantnim omrežjem v 50 in 70 m obsegu.

kritični objekt	število vseh objektov	število objektov v dosegu hidranta		
		$r < 50$ m	$50 \text{ m} < r < 70$ m	$r > 70$ m
vrtec	9	2	5	3
šola	11	7	5	1
dijaški dom	1	0	1	0
bolnišnica	1	0	0	0
dom za ostarele	1	0	0	1
zdravstveni dom	1	0	0	1
bencinski servis	5	4	1	0
objekt za šport in rekreacijo	8	6	5	0
kino	1	2	1	0
gledališče	1	0	0	1

zakonskih določil, saj najdaljša razdalja med dvema sosednjima hidrantoma v starem mestnem jedru znaša 148 m, povprečna razdalja med hidranti pa je 99 m. Posebej gre izpostaviti Ptujski grad, kulturni spomenik državnega pomena. V bližini grajskega kompleksa je le en hidrant, zato je del objektov iz hidrantnega omrežja nedosegljiv. Položaj otežuje še težko dostopen teren.



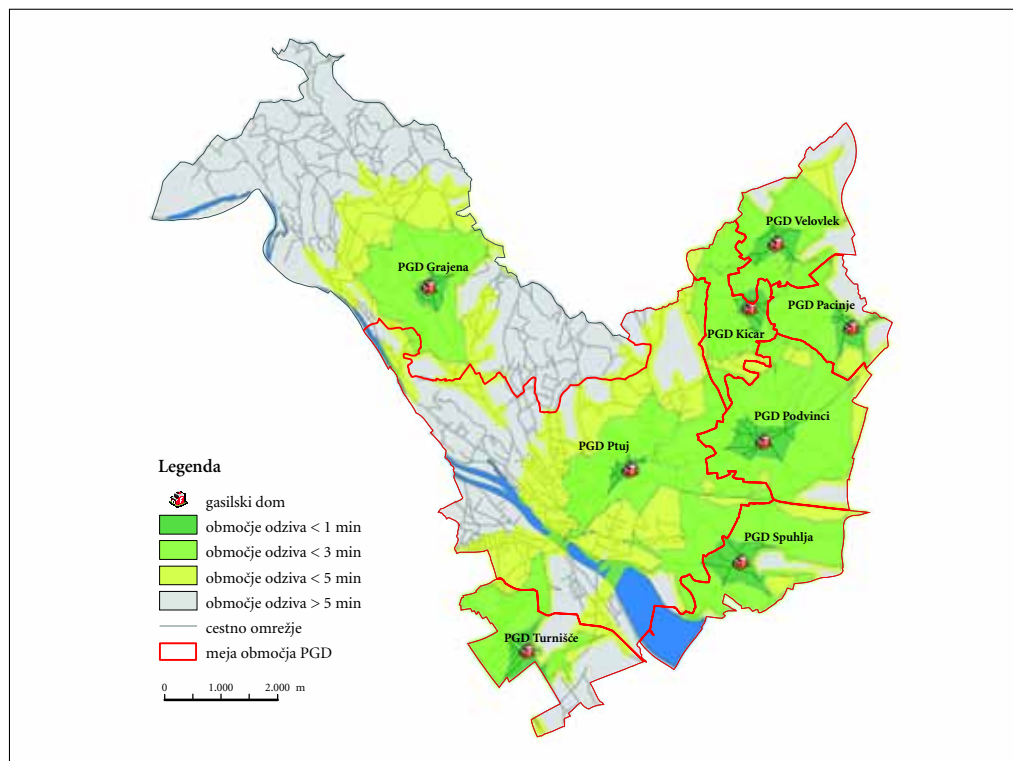
Slika 3: Območja dosegljivosti hidrantnega omrežja v mestnem jedru.

## 5 Analiza časovne odzivnosti gasilskih enot

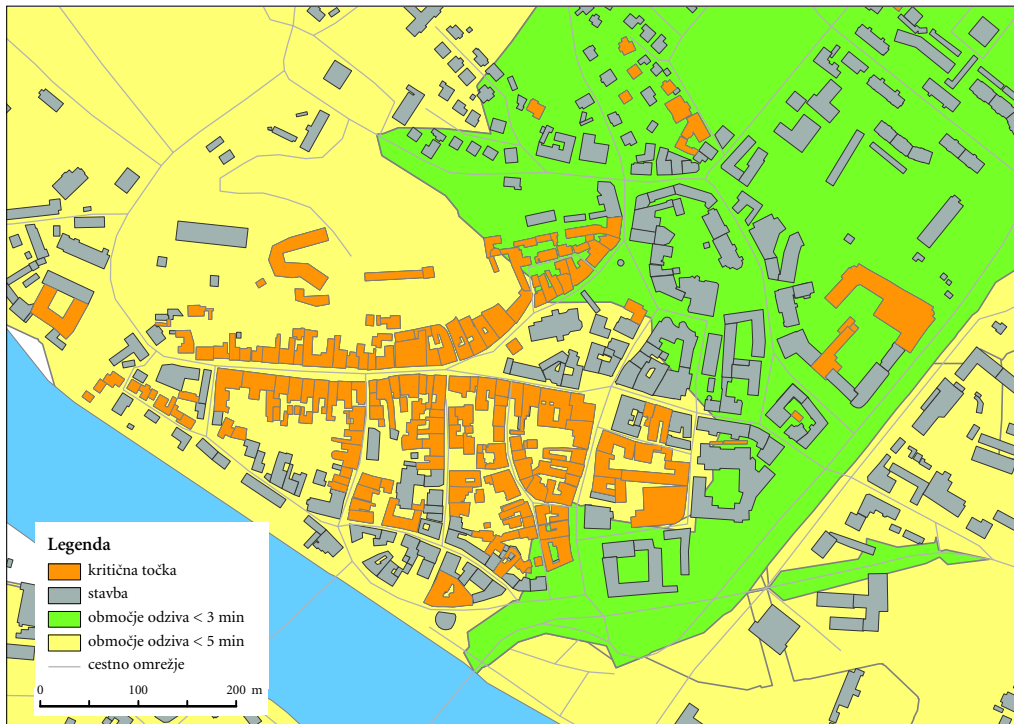
Reševalni procesi v kriznih razmerah in njihova uspešnost ter kakovost storitev so tesno povezani z ustrežno informacijsko podporo in vedenjem o prostoru. Ena ključnih nalog intervencijskih enot je čim hitrejša odzivnost oziroma prihod na kraj dogodka. Analiza odzivnosti vseh osmih PGD-jev temelji na podatkih o cestnem omrežju, povprečnem letnem dnevnem prometu na cestnih odsekih, možnih realnih hitrostih vozil in podatkih o omejitvah in ovirah na cesti (zapore cest, neprevoznost, enosmerne ulice, prepoved U obratov idr.). Ob tem smo upoštevali tudi dodatni čas gasilskega vozila, ki je potreben pri zavojih, U obratih idr. Slika 4 prikazuje območja odzivnosti gasilskih enot do 1, 3 in 5 minut.

Analiza je pokazala, da so le trije kritični objekti znotraj 1 minutnega območja odzivnosti (osnovna šola in športna dvorana ob njej ter bencinski servis). Večina objektov se nahaja v območjih od 3 do 5 minutne odzivnosti (večina bencinskih servisov, šol in vrtcev). Odzivnost gasilskih enot do lokacij vrtcev znaša v povprečju 2 min in 56 sek, prav toliko do šol. Do objektov za šport in rekreacijo 2 min in 37 sek ter bencinskih servisov 2 min in 3 sek. Najdaljši odzivni čas je potreben do glasbene šole (4 min in 43 sek), ki je od najbližjega gasilskega doma oddaljena 2,3 km.

Območje odzivnosti gasilskih enot več kot 5 min, obsega 2516 ha površine občine, kjer je 1041 objektov. Tu živi 2907 prebivalcev ali 12,3 % vseh. Ugotovili smo, da je na tem območju tudi manjše število hidrantov, zaradi prevlade gozdov in polj pa v primeru požara večjih razsežnosti obstaja tudi povečano požarno tveganje. Ugotovili smo še, da je večina kritičnih točk v območju od 3 do 5 min odzivnosti gasilskih enot (v povprečju med 3 in 3,5 minute).



Slika 4: Območja odzivnosti gasilskih enot do 1, 3 in 5 minut.



Slika 5: Kritične točke in območja odzivnosti gasilskih enot.

Analiza je pokazala, da je le 10 % kritičnih objektov na zaščitenem (vodovarstvenem) območju, kjer je v primeru nesreče potrebna posebna pozornost v primeru razlitij okolju škodljivih snovi. Nobena od kritičnih točk ne leži na poplavnem ali drugače ogroženem območju.

## 6 Sklep

Opisana raziskava kot prva v Sloveniji na krajevni ravni analizira prostor in tveganje v primeru požara ali eksplozije v objektih posebnega pomena. Rezultati raziskave in pridobljeni podatki, kartografske predstavitve in zaključki analiz bodo v podporo načrtovanju preventivnih ukrepov, pripravo strateških in drugih dokumentov ter zmanjšanju tveganj. Ob tem bodo rezultati uporabni za pripravo učinkovitejših scenarijev ukrepanj v primeru nesreč ter osnova za izgradnjo GIS-a za podporo delovanja gasilskih enot.

Ugotovitve kažejo na potrebo po dograditvi hidrantnega omrežja v okolici obravnavanih objektov in na območjih, kjer je potrebna daljša časovna odzivnost intervencijskih enot. Raziskava je tudi pokazala, da je razporeditev lokacij gasilskih domov ustrezna z vidika odzivnosti do kritičnih objektov in kritičnih točk v občini. Za hitrejšo odzivnost je treba urediti interventne poti in dostopnost ob objektov. Raziskava je tudi potrdila, da so podatki, s katerimi razpolagajo lokalne skupnosti, javna podjetja in lastniki stavb, pogosto nezadostne kakovosti. V nadaljevanju bi bilo treba izvesti tovrstne prostorske analize posebej še za kulturne spomenike v mestu.



## 7 Viri in literatura

- ESRI 2000: An ESRI White Paper, May 2000. Geographic Information Systems: A Powerful New Tool for Fire and Emergency Services. Redlands.
- Grm, B., Glavnik, A., Tomazin, M., Oblak, J. 2005: Oskrba z vodo za gašenje. Končno poročilo – 1. dopolnitev. Center za prenos znanja in tehnologij. Ljubljana.
- Kohvakka, K. 2008: GIS Risk Analysis Development in the Finnish Rescue Services. Nordic Seminar – The use of Geographic Information in Crises Management. Bergen.
- Medmrežje 1: <http://spin.sos112.si/> (15. 6. 2009).
- Medmrežje 2: <http://www.arso.gov.si/> (29. 7. 2009).
- Medmrežje 3: <http://www.dc.gov.si/> (27. 7. 2009).
- Odlok o gasilski javni službi v Mestni občini Ptuj. Uradni vestnik Mestne občine Ptuj 1/2008. Ptuj.

## ANALIZA ZAZNAVANJA ROBA URBANIH NASELIJ V GIS-U

**mag. Samo Drobne, dr. Alma Zavodnik Lamovšek, Tadej Žaucer**

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani

samo.drobne@fgg.uni-lj.si, alma.zavodnik@fgg.uni-lj.si, tadej.zaucer@fgg.uni-lj.si

**Blaž Špiler**

Savaprojekt d. d. Krško

blaz.spiler@savaprojekt.si

UDK: 711.4:659.2:004(497.4)

### IZVLEČEK

#### **Analiza zaznavanja roba urbanih naselij v GIS-u**

V prispevku analiziramo zaznavanje roba urbanega naselja. Anketo o zaznavanju roba urbanega naselja smo izvedli med lokalnim prebivalstvom v naseljih Postojna, Pivka, Jesenice in Radovljica. Odgovore smo analizirali s pomočjo metode drseče sredine ter analitičnih postopkov v GIS-u. Uporabljen pristop je dal zadovoljive rezultate na območjih izrazitih naravnih in grajenih ovir. V bolj kompleksnih postopkih GIS modeliranja roba urbanega naselja pa je smiselno vključiti še nekatera druga formalna, morfološka in/ali funkcijska merila.

### KLJUČNE BESEDE

urbano naselje, rob naselja, zaznavanje roba, GIS

### ABSTRACT

#### **Perception analysis of urban areas boundaries in GIS**

Paper analyses the perception of urban areas boundaries. Statistical survey with local inhabitants about the perception of urban area boundaries was performed in four Slovenian towns of Postojna, Pivka, Jesenice and Radovljica. Results of survey were digitized and transformed to GIS and analysed using moving average method. Used method gave satisfactory results in areas with boundaries coinciding with built or natural borders. Some other formal, morphologic or functional criteria should be used in addition in more complex situations.

### KEY WORDS

urban settlement, settlement boundary, GIS

## 1 Uvod

Mesta so zapleten družbeni pojav. Neprestano se spreminjajo in širijo. Vsako mesto ima svoj položaj v hierarhičnem omrežju naselij, ki je vezan na različne dejavnike, kot so opremljenost s funkcijami, število prebivalcev in podobno. Košir (1993) definira pet prostorskih prvin, ki predstavljajo osnovne oblikovne sestavine, ki jih lahko z analizo izluščimo iz vsake urbane tvorbe. Ti elementi so lega, obod, sistem hierarhično členjenih komunikacij, zazidalno tkivo in arhitektura posebnega pomena. Obod oziroma obris mesta je bil v preteklosti definiran z mestnim obzidjem, v novejši dobi pa je izgubil svoj pomen, saj se mesta zaradi skokovite rasti prebivalstva širijo daleč navzven.

Urbanost lahko definiramo kot lastnost nečesa, kar je izrazito mestno (Drozg 1999). Pri opredeljevanju urbanih območij je tako potrebno upoštevati mestne značilnosti, glede na katere se omenjena območja ločijo od preostale krajine. Značilnosti, ki območje opredeli kot mestno, je veliko. V grobem lahko na njihovi osnovi določimo tri skupine meril, s pomočjo katerih merimo urbanost (ESPON 1.4.1. 2005; ESPON 2007; Prosen s sodelavci 2008): formalna merila, morfološka merila in funkcijska merila.

Formalni pristop k opredeljevanju mestnih območij ta definira na podlagi pravnega oziroma administrativnega statusa naselbin. Formalni status mesta predstavlja instrument, ki ga oblast uporablja za organizacijo in vodenje države. Delitev na urbana in ruralna območja se izvaja na osnovi meril, kot so število prebivalcev, določen nabor centralnih funkcij, poseben status (kulturni, zgodovinski itd.) naselja itd. Število prebivalcev je med najpogosteje uporabljenimi formalnimi merili v evropskih državah. Ko naselbina preseže predpisan prag, pridobi mestne pravice in dolžnosti.

Morfološki pristop definira urbana območja predvsem na podlagi strnjnosti pozidave. Merila, ki se uporabljajo za določitev območij strnjene pozidave, so merilo minimalne oddaljenosti med grajenimi objekti v povezavi z minimalnim pragom števila prebivalstva, gostota prebivalstva, gostota zazidave ali število objektov na površinsko enoto.

Funcijska merila se uporabljajo predvsem kot dopolnilo morfološkemu in formalnemu pristopu. Po funkcijskem pristopu lahko delimo urbano območje v urbano središče ter notranji in zunanji obroč. Za urbano središče je značilna zelo strnjena pozidava, veliko število prebivalcev na enoto površine in prisotnost številnih funkcij ter delovnih mest. Notranji obroč objema urbano središče, a je prehod med njima zvezen. Tudi tu je gostota poselitve še dokaj visoka. Zunanji obroč je zunanje, redkeje naseljeno območje, ki predstavlja mejo med mestnim in podeželskim. Za manjša naselja omenjena funkcionalna členitev območij običajno ni možna oziroma je težje izvedljiva.

Opredelitev urbanih območij oziroma razmejitev med urbanim in ruralnim hkrati posredno pomeni tudi opredelitev roba urbanega naselja. V prispevku se ukvarjamo s kvalitativno analizo intuitivnega zaznavanja roba urbanega naselja s strani prebivalcev. V ta namen smo izvedli anketo med lokalnim prebivalstvom v naseljih Postojna, Pivka, Jesenice in Radovljica o njihovem osebnem intuitivnem zaznavanju roba urbanega naselja.

Za Slovenijo je značilna zelo velika razpršenost poselitve, na kar kaže tudi podatek, da je trenutno v Registru prostorskih enot evidentiranih kar 6029 naselij (SURS 2009). Kljub velikemu številu naselij v Sloveniji pa je le malo tistih, katerim lahko dodelimo naziv mestnega oziroma urbanega naselja. Z opredeljevanjem naselij v Republiki Sloveniji so se ukvarjali že številni (Ravbar 1993; Vrišer 1995; Drozg 1998; 1999; 2005; Pavlin s sodelavci 2003; Prosen s sodelavci 2008; Strategija prostorskega ... 2004; Zavodnik Lamovšek, Drobne in Žaucer 2008) in drugi, merila za ločevanje med urbanimi in podeželskimi naselji pa so se v posameznih raziskavah razlikovala.

## 2 Materiali in metode

Anketo o zaznavanju roba urbanega naselja smo izvedli med lokalnim prebivalstvom v naseljih Postojna, Pivka, Jesenice in Radovljica. Raziskavo smo izvedli v dveh časovnih obdobjih; in sicer v septembru

2008 v Postojni in Pivki ter v aprilu 2009 na Jesenicah in v Radovljici. Anketa je bila vedno izvedena osebno, na terenu z naključnimi mimoidočimi v časovnem okviru enega dne.

Naloga anketiranja je bila, da na grafično podlogo zariše zaznavni rob naselja ter rob središča naselja. Za raziskavo je bil zanimiv predvsem rob naselja, z ločevanjem ter zarisom središča naselja smo želeli zagotoviti pravilno razumevanje proučevanih sestavin naselja.

Anketni vprašalnik je obsegal en list formata A3. Prednja stran vprašalnika je obsegala grafični del ankete: izris ortofoto posnetka obravnavanega naselja, na katerega smo s pomočjo analitičnega senčenja dodali sence za doseg tridimenzionalnega učinka in bolj stvarnega prikaza zemeljskega površja. Na grafičnem delu anketnega vprašalnika smo prikazali tudi potek pomembnejših cest in železnice za boljše prepoznavanje objektov v prostoru. Za pripravo karte so bili uporabljene podlage Geodetske uprave republike Slovenije: DOF5, DMV25 in podatki o cestnem in železniškem omrežju. Zemljepisnih imen namenoma nismo vključili na grafično podlogo ali anketni vprašalnik, saj bi s tem lahko posredno vplivali na rezultat. Hrbtna stran vprašalnika je vsebovala štiri vprašanja, s katerimi smo pridobili osnovne statistične podatke o anketirancu (spol, kraj bivanja, kraj dela/šole, prevozno sredstvo).

Zbrane grafične odgovore smo ekransko digitalizirali ter jih rastrirali z ločljivostjo 10 krat 10 m. Frekvenčne podatke odgovorov smo analizirali v geografskem informacijskem sistemu ArcGIS po metodi drseče sredine. Namen analize je bil prepoznati značilna območja, znotraj katerih se glede na odgovore anketirancev nahaja rob naselja.

### 3 Rezultati in vrednotenje rezultatov

#### 3.1 Anketa

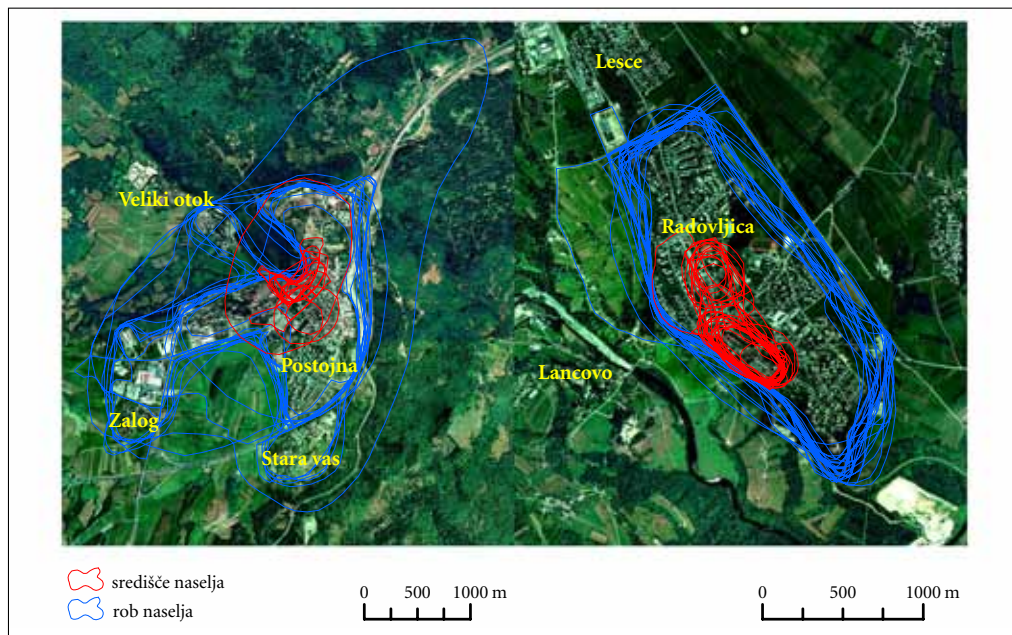
V postopku izvedbe ankete o zaznavanju roba urbanega naselja smo pridobili 17 odgovorov v Postojni, 15 odgovorov v Pivki ter po 25 odgovorov na Jesenicah in v Radovljici. Praviloma so večjo pripravljenost za sodelovanje v anketi pokazale ženske, samo na Jesenicah je na anketo odgovorilo več moških kot žensk (glej preglednico 1).

*Preglednica 1: Sodelovanje lokalnega prebivalstva v anketi.*

naselje	število anketirancev		skupaj
	moški	ženske	
Postojna	7 (41 %)	10 (59 %)	17
Pivka	4 (27 %)	11 (73 %)	15
Jesenice	14 (56 %)	11 (44 %)	25
Radovljica	12 (48 %)	13 (52 %)	25

Večina anketiranih se na delo ali v šolo vozi z osebnim avtomobilom (81 %), sledi delež tistih, ki gredo peš (16 %), še manj pa se jih vozi s kolesom (2 %) ali javnim prevozom (1 %). Povprečna oddaljenost kraja bivanja anketiranih oseb od njihovega delovnega mesta/šole je znašala za Postojno 10,2 km, za Pivko 12,5 km, za Jesenice 20,6 km ter za Radovljico 16,6 km.

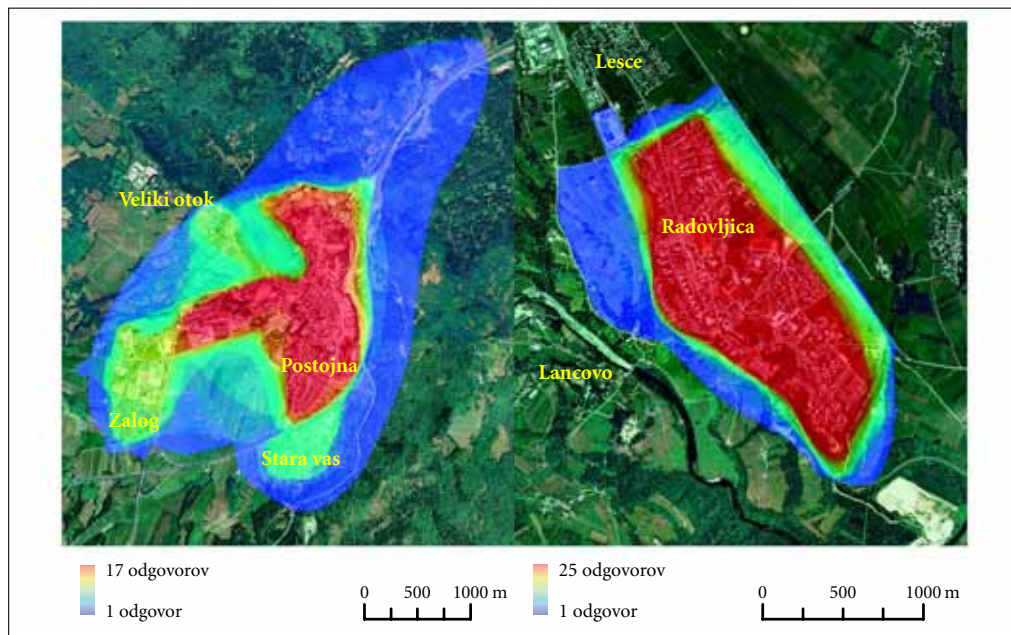
Iz pridobljenih anketnih odgovorov (grafičnih zarisov robov naselij) je bilo takoj mogoče razbrati dokaj velike razlike v zaznavi roba urbanega naselja. Razhajanje v zaznavanju roba sicer marsikje lahko pripišemo dejstvu, da so si nekateri za anketo vzeli bistveno več časa in je zato njihova ocena bolj natančna. Toda kljub temu lahko sklepamo iz rezultatov, da prihaja pri vseh analiziranih naseljih do pomembnih razhajanj v odgovorih, ki niso zgolj rezultat različne natančnosti, saj se stopnja razhajanja bistveno



Slika 1: Zaznavanje središča in roba naselja v Postojni in Radovljici.

razlikuje med naselji, pa tudi med posameznimi deli roba posameznega naselja. Kot problematična so se izkazala predvsem območja stikov obravnavanih naselij s sosednjimi naselji (Postojna s Staro vasjo, Pivka s Petelinjim, Jesenice s Hrušico in Slovenskim Javornikom ter Radovljica z Lescami) ali z nekdanjimi samostojnimi naselji, ki so danes formalno priključena mestu (Postojna z Zalogom, Pivka z Radohovo vasjo in Hrastjem). Zaradi velikega obsega vseh rezultatov prikazujemo in komentiramo v nadaljevanju samo rezultate za naselji Postojna in Radovljica. Slika 1 prikazuje anketne odgovore (zarise) zaznavanja središča in roba naselja, slika 2 pa združene odgovore anketirancev v frekvenčni podobi zaznave roba obravnavanih naselij.

V primeru Postojne opazimo, da se na jugu fizično že stika s Staro vasjo, tako da bi po večini kazalnikov obe naselji spadali v isti sklop strnjene pozidave, a je vmes vendarle avtocesta, ki se je v analizi pokazala kot resnično močan razmejitveni dejavnik. Takšno tezo so potrdili tudi številni odgovori, saj je veliko vprašanih ostro zarisalo mejo po avtocesti in ločilo obe naselji. V primeru Zaloga je situacija nekoliko drugačna. Postojna se proti zahodu in jugozahodu širi s svojimi poslovno-obrtnimi in industrijskimi conami in že dosega sosednje naselje. Po opažanju anketarja so nekateri anketiranci, predvsem mlajši, omenjene površine zarisali kot del Postojne. Industrija v tem primeru deluje kot povezovalni dejavnik, kar vpliva na določene anketirance, ki Zalog priključijo Postojni. Nekoliko pa verjetno doprinese tudi dejstvo, da je Zalog formalno del Postojne in da, čeprav nima ulic kot ostali deli mesta ampak hišne številke Zalog 1–57, prometna oznaka začetka mesta Postojna stoji pred Zalogom. Veliko anketirancev obravnava tudi Postojnsko jamo kot del mesta, kljub temu da je presledek med grajeno strukturo tukaj večji kot v primeru Stare vasi. Iz slednjega lahko sklepamo, da na zaznavanje ljudi o priključitvi območij k urbanemu naselju lahko pomembno vplivata tudi funkcija in oblika teh območij. Cesta med Postojnsko jamo in Postojno tako deluje kot povezovalni dejavnik, za razliko od avtoceste, ki Staro vas loči od Postojne. Na preostalih območjih, kjer naselje meji na gozdne ali kmetijske površine oziroma na druge naravne ali grajene ovire, se linije zarisa anketirancev, z izjemo redkih, prekrivajo in pričajo o tem, da je tam rob naselja jasen in lažje določljiv.



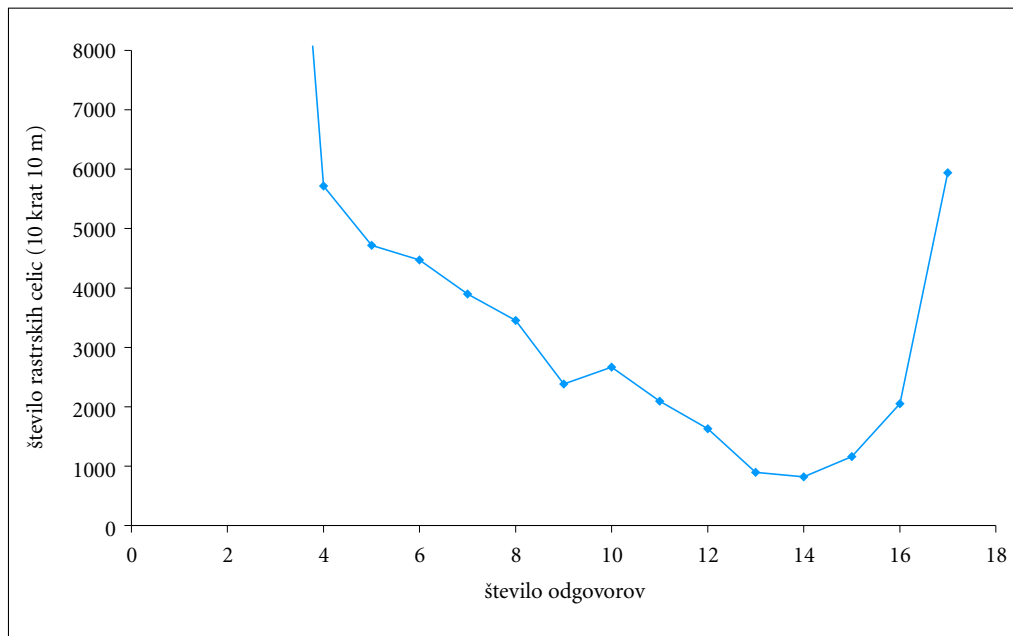
Slika 2: Število odgovorov zaznavanja roba naselja v Postojni in Radovljici.

Radovljica je v primerjavi s Postojno primer zelo homogenega naselja. Na severu je sicer z Lescami že skoraj strnjena, a je podobnost zaznavanja roba naselja anketiranih krajanov kar malce presenetljiva: vsi striktno ločijo Radovljico in bližnje Lesce kot dve naselji. V primeru Radovljice tudi drugod ni bilo večjih dilem. Razlike v zarisu roba naselja lahko pripišemo skoraj izključno različni natančnosti risanja posameznikov, ki mejo zarišejo bolj ali manj zvesto po meji med pozidanimi in kmetijskimi zemljišči. Izjema je edino območje med strnjeno pozidavo in novozgrajeno avtocesto, kjer se je del anketirancev odločil vmesne kmetijske površine opredeliti kot del naselja. Na takšen, nedvoumen rezultat verjetno vplivata lega Radovljice in oblika njenega oboda, saj so vse meje ostre in razmeroma ravne, pa tudi razpršene gradnje ni zaslediti. Naselje je omejeno z avtocesto, ki poteka po severovzhodnem robu naselja in z reliefnim robom ravnine nad reko Savo in samo reko, ki ga omeujeta na jugozahodu. Kljub temu pa je po pričevanju nekaterih krajanov včasih obstajalo rivalstvo med ljudmi iz različnih predelov Radovljice, kar pomeni, da nekoč naselje ni bilo tako strnjeno, a se je s časom, menjavo generacij, širitvijo in zaokrožitvijo nekdanjih ločenih delov mesta in zaselkov, ki danes sestavljajo Radovljico, vse to spremenilo.

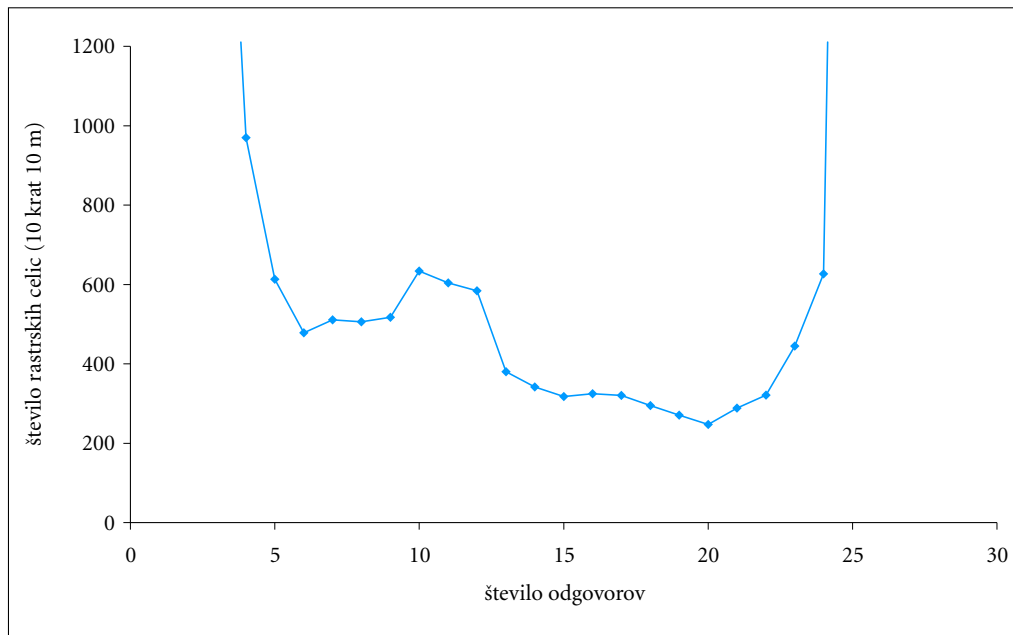
### 3.2 Analiza rezultatov ankete

Frekvenčne porazdelitve zaznavanja roba naselja (glej sliko 2) smo analizirali z metodo drseče sredine. V ta namen smo analizirali pogostost zarisa roba naselja po območjih izbrane grafične ločljivosti 10 krat 10 m (število rastrskih celic). Drsečo sredino števila rastrskih celic smo izračunali z upoštevanjem treh sosednjih frekvenc odgovorov. Na slikah 3 in 4 sta grafa drseče sredine števila rastrskih celic ločljivosti 10 krat 10 m izračunane z upoštevanje treh sosednjih frekvenc odgovorov.

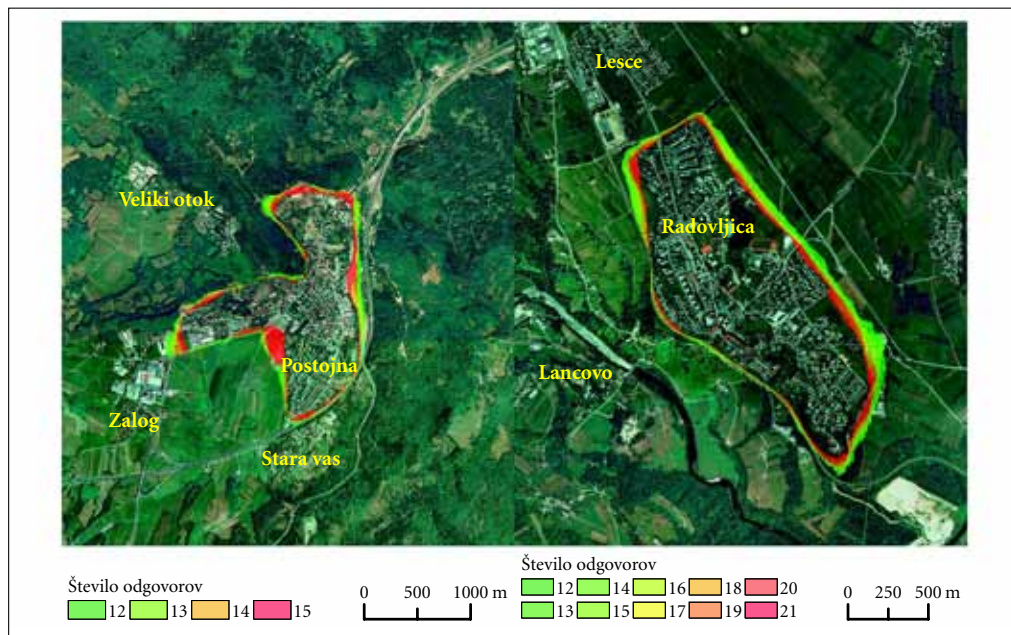
S pomočjo tako izračunane drseče sredine smo določili značilen interval odgovorov glede zaznavanja roba naselja (za Postojno 12 do 15 odgovorov, za Radovljico pa 12 do 21 odgovorov). Slika 5 prikazuje število odgovorov zaznavanja roba naselja na značilnem intervalu odgovorov za Postojno in Radovljico.



Slika 3: Drseča sredina števila rastrskih celic ločljivosti 10 krat 10 m (izračunana z upoštevanjem treh sosednjih frekvenc odgovor) za Postojno.



Slika 4: Drseča sredina števila rastrskih celic ločljivosti 10 krat 10 m (izračunana z upoštevanjem treh sosednjih frekvenc odgovor) za Radovljico.



Slika 5: Število odgovorov zaznavanja roba naselja na značilnem intervalu odgovorov za Postojno (levo) in Radovljico (desno).

Iz slike 5 je mogoče razbrati območja, kjer je rob naselja bolj natančno določen in tista, kjer je manj jasen. Območja, ki so definirana z ožjim pasom značilnega intervala odgovorov, so tista območja, kjer je glede na odgovore anketirancev rob naselja lažje opredeliti. Na mestih, kjer je pas širši pa se mnenja bolj razlikujejo. Dilema se pojavi predvsem na območjih redkeje pozidave, kjer ni jasnega prehoda med urbani in ne urbani površinami.

V primeru Postojne je jasno vidno, kako se pas značilnih odgovorov drži pomembnejših prometnic ob naselju, hkrati pa se prilagaja reliefu ter pozidavi. Bolj nedvoumno pa je opredeljen rob naselja Radovljice. Tukaj se pojavijo posamezna odstopanja v zaznavanju roba naselja predvsem pri vključevanju posameznih objektov v naselje na severozahodu in na severovzhodnem robu Radovljice, kjer anketiranci niso enotnega mnenja, ali meja naselja poteka po meji pozidave ali po (avto)cesti. V vsakem primeru pa lahko trdimo, da sta infrastruktura in pozidava dejavnika, ki po zaznavanju anketirancev določata rob naselja.

## 4 Sklep

S primerjavo rezultatov za vsa štiri analizirana naselja (Postojna, Pivka, Jesenice in Radovljica) lahko v splošnem ugotovimo, da metoda drseče sredine večinoma lahko zadovoljivo določi značilen pas zaznavanja roba naselja. Ta pas je ožji na mestih, kjer je rob naselja zelo izrazit, ter se razširi tam, kjer je težje opredeljiv. Ugotoviti je mogoče, da se pas značilnih odgovorov oži predvsem na območjih, kjer širjenje naselja preprečujeta relief (npr. omejenost Jesenic s strmim reliefom s severne in južne strani) ali infrastruktura (npr. avtocesta ter železnica ob Postojni). Na območjih, kjer se pozidava počasi redči in se v mestno tkivo poleg stanovanjskih in centralnih vklaplajo še druge dejavnosti, pa se pas značilnih odgovorov razširi.



Določanje roba urbanega naselja je preveč zapleten postopek, da bi ga bilo mogoče modelirati le na podlagi enega merila. Zato smo v (Špiler 2009) analizirali postopke ter rezultate še številnih drugih meril (gostota poselitve, oddaljenost med stavbami, gostota zazidave, dejanska raba površin). Izkazalo se je, da je uporaba posameznega merila optimalna samo v določenih pogojih, ne pa za vse primere. Urbana naselja so sestavljena iz več morfološko različnih enot, zato je temu potrebno prilagoditi tudi model, s katerim določamo rob naselja. Tako se za najboljše rezultate poslužujemo kombinacije različnih pristopov in meril.

## 5 Viri in literatura

- Drozg, V. 1998: Tlorisi slovenskih mest. Geografski vestnik 70. Ljubljana.
- Drozg, V. 1999: Nekateri značilnosti fizične strukture slovenskih mest. Dela 14. Ljubljana.
- Drozg, V. 2005: Koncepti policentrične ureditve v Sloveniji. Dela 24. Ljubljana.
- ESPON 1.4.1. 2005: The Role of Small and Medium-Sized Towns (SMESTO).  
Medmrežje: <http://www.espon.eu> (9. 3. 2010).
- ESPON 1.4.3. 2007: Study on Urban Functions. Memrežje: <http://www.espon.eu> (9. 3. 2010).
- Košir, F. 1993: Zamisel mesta. Ljubljana.
- Pavlin B., Milenković A., Klasinc, S., Grm, B. 2003: Določitev mestnih naselij in naselij mestnih območij v Republiki Sloveniji za statistična izkazovanja. Ljubljana. Medmrežje: <http://www.stat.si> (9. 3. 2010).
- Prosen, A., Zavodnik Lamovšek, A., Žaucer, T., Drobne, S., Soss, K. 2008: Pomen majhnih in srednje velikih mest za razvoj urbanih območij. Zaključno poročilo s predlogom meril za razmejitev mest in odprtega prostora: CRP »Konkurenčnost Slovenije 2006–2013«. Ljubljana.
- Ravbar, M. 1993: Kriteriji za opredeljevanje mest v Sloveniji. Ljubljana.  
Strategija prostorskega razvoja Slovenije. Uradni list RS 76/2004. Ljubljana.
- Špiler, B. 2009: Analiza postopkov za določanje roba urbanih naselij na štirih primerih. Diplomsko delo. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana.
- Vrišer, I. 1995: Problemi z opredeljevanjem mest in mestnih občin v Sloveniji. Dela 11. Ljubljana.
- Zavodnik Lamovšek, A., Drobne, S., Žaucer, T. 2008: Majhna in srednje velika mesta kot ogrodje policentričnega urbanega razvoja. Geodetski vestnik 52-2. Ljubljana.

## MODELIRANJE FUNKCIONALNIH OBMOČIJ SLOVENSКИH URBANIH SREDIŠČ

**dr. Anka Lisec, mag. Samo Drobne, Miha Konjar, dr. Alma Zavodnik Lamovšek**

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani

anka.lisec@fgg.uni-lj.si, samo.drobne@fgg.uni-lj.si, miha.konjar@fgg.uni-lj.si, alma.zavodnik@fgg.uni-lj.si

UDK: 711.4(497.4)

### IZVLEČEK

#### **Modeliranje funkcionalnih območij slovenskih urbanih središč**

Osnovni namen raziskovalnega dela je predstaviti koncepte funkcionalnih urbanih območij (FUO), funkcionalnih urbanih regij (FUR) in funkcionalnih regij (FR) ter določitev teh funkcionalnih območij v Sloveniji. Določitev prostorskih funkcionalnih enot temelji na povezanem urbanem sistemu opredeljenem v Strategiji prostorskega razvoja Slovenije iz leta 2004. Metodologija določitve funkcionalnih območij je osnovana na pristopu trga dela, kjer se kot osnovni dejavnik, ki določa povezanost med predhodno določenimi urbanih središči in občinami, smatra obseg dnevnih vozačev na delo.

### KLJUČNE BESEDE

funkcionalno urbano območje, funkcionalna urbana regija, funkcionalna regija, Slovenija

### ABSTRACT

#### **Modelling functional areas of Slovenian urban centres**

The main aim of the research work has been to present the concepts of functional urban areas (FUA), functional urban regions (FUR) and functional regions (FR), and to determine these functional units in Slovenia. Determination of spatial functional units is based on integrated urban system defined by the Spatial Development Strategy of Slovenia from 2004. Methodology for determination of functional units is based on labour market approach, where daily labour commuting has been considered as the main factor, which determines connectivity between predefined urban centres and municipalities.

### KEY WORDS

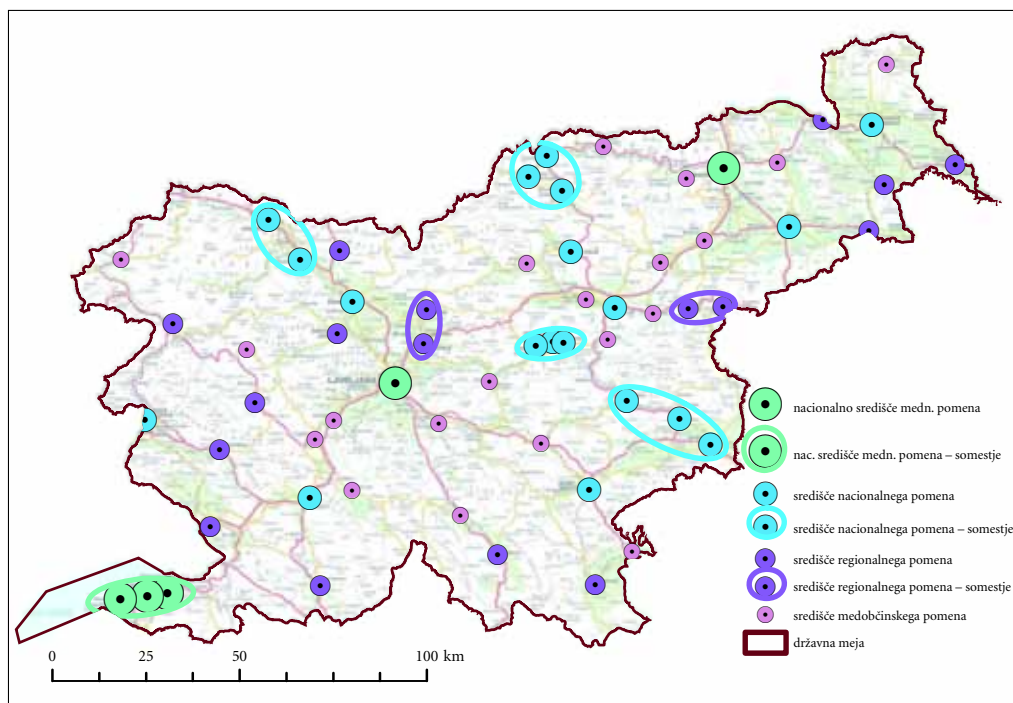
functional urban area, functional urban region, functional region, Slovenia

## 1 Uvod

Policentrični model razvoja Slovenije, ki je opredeljen v Strategiji prostorskega razvoja Slovenije (2004), izvira iz 70-ih let preteklega stoletja s sprejetimi opredelitvami skladnega prostorskega razvoja v Resoluciji o poglavitnih smotrih in smernicah za urejanje prostora (1973). Policentrični prostorski razvoj je danes močno poudarjen tudi na evropski ravni, saj je poleg socialne uravnoveženosti in gospodarske konkurenčnosti izpostavljena ozemeljska celovitost in sodelovanje na skupnem evropskem območju (Evropske prostorske razvojne ... 1999). Za uresničitev teh ciljev je ključnega pomena poznavanje funkcionalnih območij oziroma sistemov na nacionalni kot nadnacionalni ravni.

Zamisel določevanja funkcionalnih sistemov v prostoru izhaja iz ideje funkcionalnega območja kot kompleksnega, odprtega, dinamičnega in nelinearnega sistema, ki deluje na osnovi funkcionalnih povezav med večjimi in manjšimi prostorskimi enotami (Tomaney in Ward 2000). Funkcionalno območje se smatra torej kot dinamični sistem, ki ga moramo razlikovati od administrativno določenih območij, kot so pokrajine. Prav zaradi teh dinamičnih lastnosti so funkcionalna območja pomembna pri analizah gospodarskega, družbenega in okoljskega razvoja kot osnove za sprejemanje pomembnih razvojnih odločitev.

Pri urbanih in regionalnih sistemih se danes najbolj poudarja pomen urbanih območij in urbanih regij (Antikainen 2005), saj so urbana središča ena poglavitnih vodil razvoja družbe. Pri tem se pogosto izpostavljata koncepta funkcionalnih urbanih območij in funkcionalnih urbanih regij, ki sta namenjena predvsem analizi in reševanju družbenih in prostorskih neenakosti med različnimi vplivnimi območji mest ali mestnih središč ter drugih podobnih problemov, kot so razvoj naselij, širitev gospodarskih dejavnosti ter neenakosti trga dela (Drobne s sodelavci 2010). V prispevku dodatno obravnavamo funk-



Slika 1: Petnajst urbanih središč nacionalnega pomena Slovenije glede na opredelitve Strategije prostorskega razvoja Slovenije (2004).

cionalne regije, ki predstavljajo veliko širši koncept kot funkcionalna urbana območja in funkcionalne urbane regije, osnovane pa so na močnih povezavah (gospodarstvo, trgovina, trg dela ipd.) znotraj prostorskih enot funkcionalne regije.

Na področju določevanja funkcionalnih urbanih območij in funkcionalni regij je bilo v evropskem in s tem tudi slovenskem prostoru že več raziskav – izpostavimo raziskovalna projekta na temo policentričnega razvoja Evrope, ki funkcionalna območja mest določajo na osnovi števila prebivalcev, števila dnevniških vozačev, števila potnikov prevoženih z javnimi prevoznimi sredstvi, števila študentov v visokošolskih središčih, števila podjetij v mestih, količine prevoženega blaga, števila prenočitvenih kapacitet, ustvarjene bruto dodane vrednosti ter administrativne funkcije urbanega središča (Nordregio 2005; Kreitmayer McKenzie s sodelavci 2008). Prevladujoči koncept pri določevanju funkcionalnih območij, predvsem funkcionalnih regij v Evropi pa temelji na analizi podatkov o dnevniških vozačih delavcev (OECD 2002; Karlsson in Olsson; 2006; Cörven, Hensen in Bongaerts 2009). Modeliranje funkcionalni regij z metodo določevanja funkcionalnih območij na osnovi podatkov o dnevniških vozačih je bilo za Slovenijo že predstavljeno (Drobne, Konjar in Lisec 2009; Drobne s sodelavci 2010; Konjar, Lisec in Drobne 2010), predstavljeni pa so bili tudi rezultati primerjalne analize med tako določenimi funkcionalnimi regijami s predlaganimi administrativno določenimi pokrajinami (Drobne s sodelavci 2009).

V prispevku smo za potrebe modeliranja funkcionalnih urbanih območij (FUO), funkcionalnih urbanih regij (FUR) in funkcionalnih regij (FR) v Sloveniji uporabili le metodo trga dela. Metoda je osnovana na predhodni določitvi središč funkcionalnih območij, kjer smo kot jedra funkcionalnih območij prevzeli urbana središča nacionalnega pomena (slika 1), kot jih predlaga Strategija prostorskega razvoja Slovenije (2004), osnovna prostorska enota za združevanje v večja funkcionalna območja pa je bila občina.

## 2 Terminologija in metode dela

V delu izhajamo iz evropske zamisli funkcionalnih urbanih regij (FUR), kjer se FUR osredotoča na območja goste pozidave, ki predstavljajo jedra urbanih območij, in pasove oziroma območja dnevniških vozačev na delo v ta središča. FUR izbranega urbanega središča je torej določeno kot območje, s katerega se vsakodnevno na delo vozi določen odstotek prebivalstva (enosmerni pretok delavcev). V FUR izbranega urbanega središča smo vključili občine, iz katere se v to središče vsak dan vozi vsaj 25 % delovno aktivnega prebivalstva. FUR predstavlja torej središčna občina (ali občine v primeru, ko urbano središče predstavljajo somestja, v nadaljevanju središčna občina) in občine, katerih trg dela je močno povezan s to središčno občino.

Z določevanjem FUR-a želimo opredeliti gospodarski vpliv urbanega središča v smislu koncentracije zaposlitve v tem središču in dnevnega pretoka delavcev iz zaledja. FUR sestavljajo središčna občina z visoko zgostitvijo delovnih mest ter občine iz zaledja, iz katerih se v izbrano središčno občino vsak dan vozi na delo vsaj 5 % delovno aktivnega prebivalstva (enosmerni tok delavcev). Zamisel FUR-a torej temelji na drugačnem konceptu kot določevanje FUO-ja (Nordregio 2005) in se pogosto uporablja predvsem za primere določevanja metropolitanskih območij.

Funkcionalna regija (FR) je območje, na katerem je navzoča visoka pogostnost gospodarskih in drugih interakcij. S tega vidika je zamisel funkcionalnih regij še širša od FUR-a. Osnovna značilnost FR-ja je v našem primeru povezan trg dela, kjer je dnevni pretok delavcev veliko močnejši znotraj funkcionalne regije (notranji trg dela) kot z drugimi regijami (zunanji trg dela). Na ta način vsako osnovno prostorsko enoto (občino) povežemo z enim od predhodno izbranih urbanih središč, saj nimamo omejitev glede deleža vozačev delovno aktivnega prebivalstva. Pri določevanju FR-jev se posledično praviloma ne srečujemo s problemom »prekrivanja« funkcionalnih območij, saj določimo pripadnost osnovne prostorske enote središčni občini na osnovi najmočnejše povezave (najmočnejšega dnevnega pretoka delavcev).

V našem delu je določitev funkcionalnih urbanih območij, funkcionalnih urbanih regij in funkcionalnih regij za Slovenijo osnovana torej le na analizi dnevnih pretokov delovno aktivnega prebivalstva

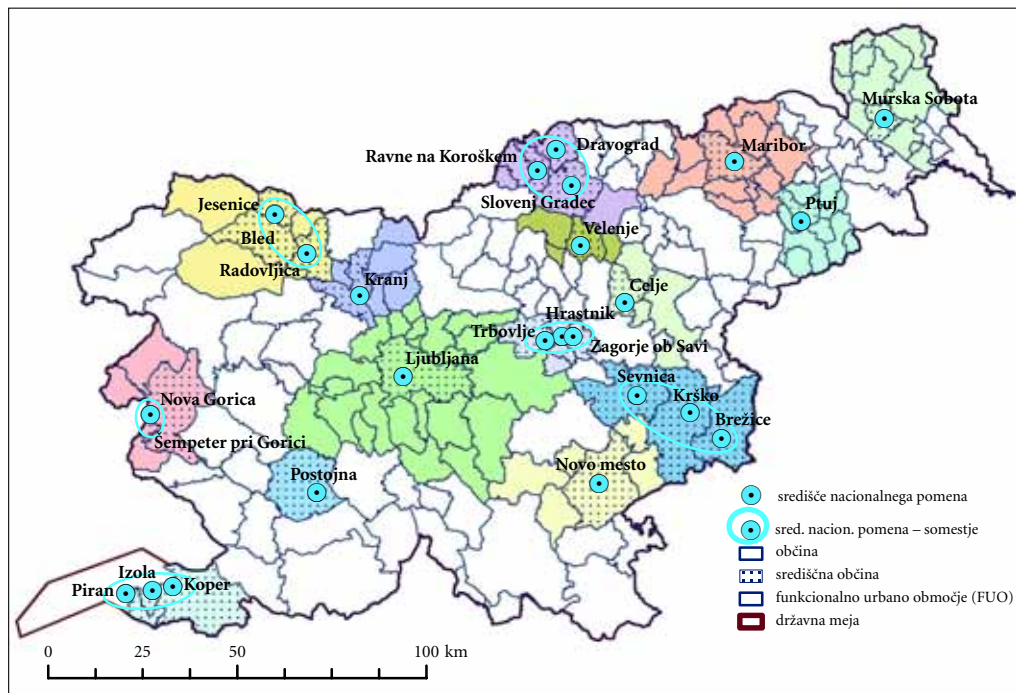
med središčnimi občinami (opredeljenimi z urbanih središči nacionalnega pomena) ter občinami zaledja. Pri tem smo razvili programsko rešitev v okolju Java, ki posamezne občine kopiči v skupine glede na izbrani opisni podatek (število dnevniških vozačev na delo) okoli središčnih občin. Pri urbanih središčih smo izhajali iz definicije urbanega sistema v Strategiji prostorskega razvoja Slovenije (2004). V slednji je slovensko urbano omrežje oziroma policentrični razvoj države osnovano na petnajstih središčih nacionalnega oziroma nadnacionalnega pomena, od tega je pet somestij (slika 1). V preglednici 1 so ta urbana središča razvrščena po številu prebivalcev urbanih središč (mest ali somestij).

*Preglednica 1: Število prebivalcev izbranih urbanih središč in središčnih občin po podatkih Statističnega urada RS na dan 1. 1. 2009 (Drobne s sodelavci 2010).*

rank	urbano središče	število prebivalcev mesta	število prebivalcev občine
1	Ljubljana	268.423	276.091
2	Maribor	96.408	113.113
3	Koper, Izola in Piran skupaj ločeno	40.134 (24.658, 11.317, 4159)	84.638 (51.354, 15.946, 17.338)
4	Celje	38.047	48.991
5	Kranj	36.357	54.188
6	Zagorje ob Savi, Trbovlje in Hrastnik skupaj ločeno	27.844 (6546, 15.525, 5773)	44.750 (17.098, 17.545, 10.107)
7	Velenje	25.935	33.226
8	Jesenice, Radovljica in Bled skupaj ločeno	24.715 (13.542, 5924, 5249)	48.674 (21.828, 18.698, 8148)
9	Novo mesto	22.874	35.570
10	Ptuj	18.321	23.699
11	Brežice, Krško in Sevnica skupaj ločeno	18.374 (6558, 7027, 4789)	67.487 (24.238 + 25.600 + 17.649)
12	Slovenj Gradec, Ravne na Koroškem, Dravograd skupaj ločeno	17.885 (7519, 7030, 3336)	37.425 (16.662, 11.722, 9041)
13	Nova Gorica in Šempeter pri Gorici skupaj ločeno	16.810 (13.054, 3756)	38.250 (31.911, 6339)
14	Murska Sobota	11.705	19.433
15	Postojna	8994	15.455

### 3 Rezultati in vrednotenje rezultatov

Na osnovi predhodno določenih urbanih središč (središčnih občin), kot so opredeljena v Strategiji prostorskega razvoja Slovenije (2004), in podatkov o vozačih iz posameznih občin na delo v izbrana urbana središča smo najprej določili funkcionalna urbana območja (FUO) Slovenije. FUO-je smo določili na osnovi kriterija funkcionalne pripadnosti posamezne občine središčni občini, ki se glasi, da se vsaj 25 % delovno aktivnega prebivalstva občine dnevno vozi na delo v središčno občino. Rezultati takega določevanja vplivnih območij urbanih središč so prikazani na sliki 2, kjer vidimo, da FUO-ji urbanih središč tvorijo le najbližje sosednje občine, ki so s to središčno občino funkcionalno močno povezane prek dnevnega toka delavcev.



Slika 2: Funkcionalna urbana območja (FUO) petnajstih urbanih središč nacionalnega pomena Slovenije.

V nadaljevanju smo FUO-je izbranih urbanih središč razvrstili glede na število prebivalcev v tako opredeljenih FUO-jih in na ta način posredno opredelili pomen oziroma moč posameznega urbanega središča (preglednica 2).

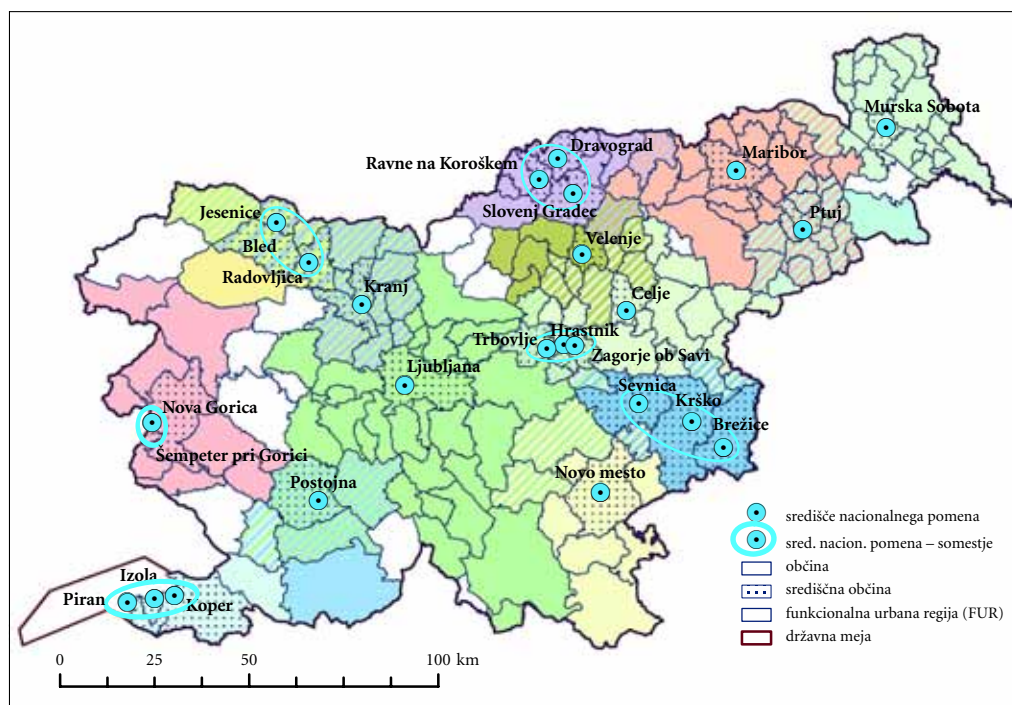
V preglednici 1 podajamo ime funkcionalnega urbanega območja po nazivu urbanega središča. Pričakovano je najmočnejše urbano središče v tem primeru Ljubljana, ki ji sledi Maribor, nato pa nekoliko presenetljivo pred Celjem FUO-ja somestja Koper–Izola–Piran, visoko se uvrsti tudi FUO somestja Brežice–Krško–Sevnica, takoj za Celjem in Kranjem. Somestje Koper–Izola–Piran se visoko uvršča tudi glede na število prebivalcev, ki živi v tem somestju; za somestje Brežice–Krško–Sevnica pa velja, da se slednje uvršča relativno nizko glede na število prebivalcev v teh mestih, število prebivalcev v omenjenih središčnih občinah pa to somestje uvršča na relativno visoko četrto mesto (preglednica 1).

Za razliko od FUO-jev poskušamo pri funkcionalnih urbanih regijah (FUR) določiti širše območje vpliva urbanih središč, kjer prav tako izhajamo iz podatkov o dnevni vožnji delavcev. FUR-e smo določili na osnovi kriterija funkcionalne pripadnosti posamezne občine urbanemu središču oziroma središčni občini, ki se glasi, da se vsaj 5 % delovno aktivnega prebivalstva občine dnevno vozi na delo v središčno občino. Rezultati takega določevanja vplivnih območij urbanih središč so prikazani na zemljevidu (slika 3).

FUR predstavlja veliko širši pristop k določevanju vplivnih območij urbanih središč v primerjavi s FUO-jem. Ugotovimo lahko, da se območja FUR-a prekrivajo, saj je kriterij za pripadnost občin predhodno izbranemu urbanemu središču precej nizek (5 % delovno aktivnega prebivalstva občine se dnevno vozi na delo v središčno občino). Na ta način sicer vključimo v vplivna območja urbanih središč širše zaledje, toda območja FUR-ov različnih urbanih središč se prekrivajo, zato tudi težje razvrstimo FUR-e po njihovi velikosti oziroma pomenu (kot smo to storili za FUO-je v preglednici 2).

Preglednica 2: Število prebivalcev funkcionalnih urbanih območij (FUO) petnajstih urbanih središč nacionalnega pomena Slovenije.

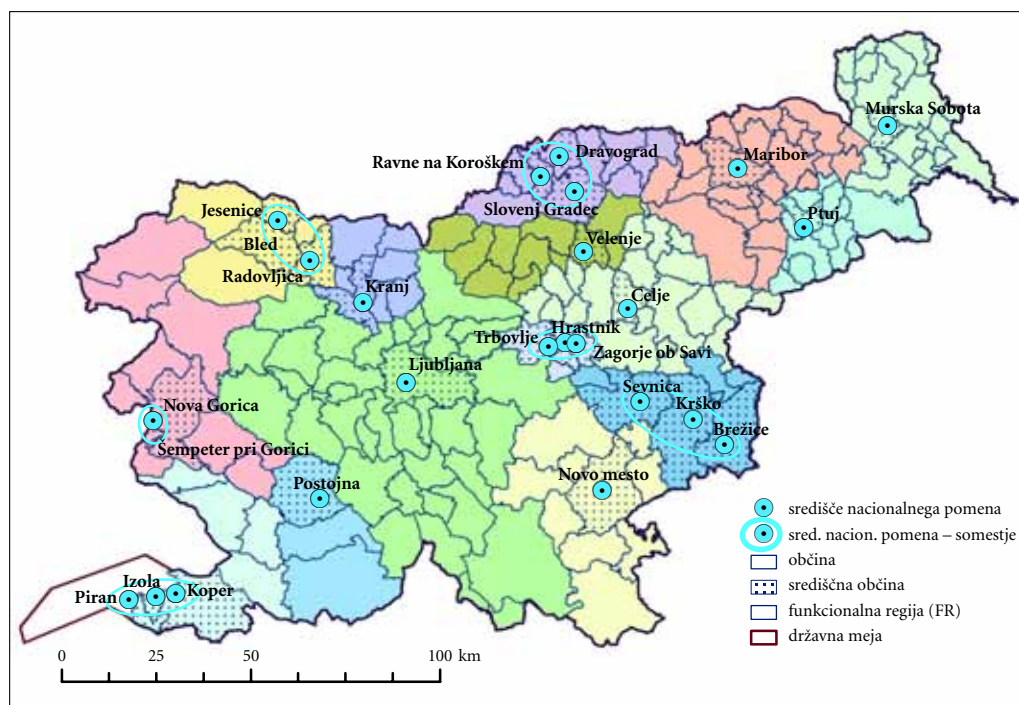
rank	funkcionalno urbano območje	prebivalstvo	
		število	%
1	Ljubljana	493.288	24,3
2	Maribor	195.471	9,6
3	Koper, Izola, Piran	84.638	4,2
4	Celje	80.325	4,0
5	Kranj	78.591	3,9
6	Brežice, Krško, Sevnica	69.900	3,4
7	Jesenice, Radovljica, Bled	66.368	3,3
8	Murska Sobota	63.638	3,1
9	Novo Mesto	63.117	3,1
10	Nova Gorica, Šempeter pri Gorici	58.862	2,9
11	Ptuj	54.520	2,7
12	Slovenj Gradec, Ravne na Koroškem, Dravograd	50.222	2,5
13	Velenje	49.292	2,4
14	Zagorje ob Savi, Trbovlje, Hrastnik	44.750	2,2
15	Postojna	15.455	0,8
	ostala območja Slovenija	563.925	27,8
		2.032.362	100,0



Slika 3: Funkcionalne urbane regije (FUR) petnajstih urbanih središč nacionalnega pomena Slovenije.

Preglednica 3: Število prebivalcev funkcionalnih regij (FR) petnajstih urbanih središč nacionalnega pomena Slovenije (Drobne s sodelavci 2010).

rank	funkcionalno urbano območje	prebivalstvo	
		število	%
1	Ljubljana	627.565	30,9
2	Maribor	265.423	13,1
3	Celje	190.423	9,4
4	Novo mesto	110.081	5,4
5	Koper, Izola, Piran	108.778	5,4
6	Nova Gorica, Šempeter pri Gorici	101.908	5,0
7	Murska Sobota	99.237	4,9
8	Kranj	93.920	4,6
9	Brežice, Krško, Sevnica	79.075	3,9
10	Ptuj	73.859	3,6
11	Velenje	67.868	3,3
12	Slovenj Gradec, Ravne na Koroškem, Dravograd	67.778	3,3
13	Jesenice, Radovljica, Bled	66.368	3,3
14	Zagorje ob Savi, Trbovlje, Hrastnik	44.750	2,2
15	Postojna	35.329	1,7
	Slovenija	2.032.362	100,0



Slika 4: Funkcionalne regije (FR) petnajstih urbanih središč nacionalnega pomena Slovenije.



Funkcionalna urbana območja in funkcionalne urbane regije smo primerjali še s funkcionalnimi regijami. Le-te smo podobno kot FOU-je in FUR-e opredelili na osnovi podatkov dnevnega pretoka delavcev do predhodno izbranih petnajst urbanih središč. Občina pripada tistemu urbanemu središču (središčni občini), kamor se dnevno na delo vozi največji odstotek delovno aktivnega prebivalstva. Na sliki 4 je prikazan rezultat modeliranja funkcionalnih regij Slovenije po opisani metodi.

Kot je prikazal že Drobne s sodelavci (2010), lahko tudi za ta primer funkcionalne regije razvrstimo glede na število prebivalstva (preglednica 3) in posledično sklepamo na pomen posameznega urbanega središča, ki so opredeljeni v Strategiji prostorskega razvoja Slovenije (2004). V preglednici 3 podajamo ime funkcionalne regije po nazivu urbanega središča.

Preglednica 2 podaja osnovne lastnosti funkcionalnih regij Slovenije, ki smo jih določili na osnovi trga dela in petnajstih urbanih središč, opredeljenih v Strategiji prostorskega razvoja Slovenije (2004). Vidimo, da podobno kot pri FOU-jih najmočnejše urbano središče predstavlja Ljubljana, ki ji sledita Maribor, nato pa Celje in Novo mesto. Izredno visoko se je podobno kot pri FOU-jih uvrstilo urbano središče Koper–Izola–Piran, ki skupno privabijo veliko delavcev iz zalednih občin.

Primerjava rezultatov modeliranja FOU-jev, FUR-ov in FR-jev na slikah 2, 3 in 4 pokaže na obseg konceptov analiziranih funkcionalnih enot (koncept FR-jev je najširši koncept modeliranja intenzivnih povezav, nato pa sledita koncepta FUR-ov in FOU-jev). Tako kot pri FOU-jih se tudi pri FR-jih kot močna urbana središča izkažejo največja mesta (Ljubljana, Maribor, Celje); kot najšibkejša urbana središča se prav tako v obeh primerih (FOU in FR) izkažejo enaka urbana središča, ki pa po številu prebivalcev niso nujno najšibkejša: Postojna, Zagorje ob Savi–Trbovlje–Hrastnik, Slovenj Gradec–Ravne na Koroškem, Velenje, Ptuj.

## 4 Sklep

Učinkovit razvoj Slovenije mora temeljiti na usklajenem regionalnem razvoju, pri katerem bodo gonilo razvoja funkcionalna območja mest in funkcionalne regije. Funkcionalna povezava med občinami oziroma naselij, še posebej med podeželskimi in mestnimi naselji, lahko veliko pripomore k trajnostnemu razvoju Slovenije in konkurenčnosti naše države v evropskem prostoru. Pomemben kazalnik funkcionalne povezanosti lahko predstavljajo dnevni vozači na delo. V prispevku smo prikazali rezultate določevanja funkcionalnih urbanih območij (FOU), konceptualno nekoliko širših funkcionalnih urbanih regij (FUR) ter najširših funkcionalnih regij (FR) z metodo trga dela, ob predhodni določitvi središč funkcionalnih območij, kjer smo kot jedra funkcionalnih območij prevzeli urbana središča nacionalnega pomena. Primerjava tako določenih FOU-jev, FUR-ov in FR-jev poudarja pomen (funkcionalni vpliv) večjih mest in nadalje izpostavlja šibkejši vpliv določenih središčnih mest (somestij), ki pa po številu prebivalcev niso nujno najmanjša.

## 5 Viri in literatura

- Antikajnen, J. 2005: The Concept of Functional Urban Area. Elaborat ESPON 1.1.1. Informationen zur Raumentwicklung.
- Cörvers, F., Hensen, M., Bongaerts, D. 2009: Delimitation and Coherence of Functional and Administrative Regions. *Regional Studies*.
- Drobne, S., Konjar, M., Lisec, A., Pichler Milanović, N., Zavodnik Lamovšek, A. 2010: Functional Regions Defined by Urban Centres of (Inter)National Importance – The Case of Slovenia. *RealCorp 2010* (v tisku). Dunaj.
- Drobne, S., Lisec, A., Konjar, M., Zavodnik Lamovšek, A., Pogačnik, A. 2009: Functional vs. Administrative Regions: Case of Slovenia. *Thematic Conference Proceedings IAUS*. Beograd.

- Drobne, S., Konjar, M., Lisec, A. 2009: Delimitation of Functional Regions Using Labour Market Approach. Proceedings of SOR'09, 10th International Symposium on Operational Research in Slovenia. Ljubljana.
- Evropske prostorske razvojne perspektive, V smeri uravnoteženega in trajnostnega razvoja ozemlja Evropske unije. Svet ministrov Evropske unije 1999. Ljubljana.
- Karlsson, C., Olsson, M. 2006: The identification of functional regions: theory, methods and applications. Ann. Reg. Sci. 40.
- Konjar, M., Lisec, A., Drobne, S. 2010: Methods for Delineation of Functional Regions Using Data on Commuters. Geospatial Thinking, Proceedings of AGILE 2010 (v tisku). Guimar\_es.
- Kreitmayer McKenzie, J., Pichler-Milanović, N., Zavodnik Lamovšek, A., Sitar, M., Cigale, D., Krevs, M., Žaucer, T., Drozg, V., Gostinčar, P., Benini, R., Naldi, P. 2008: Strategija regionalnega policentričnega sistema v srednje in vzhodno evropskem gospodarskem integracijskem območju. Končno poročilo. Ljubljana.
- Nordregio 2005: ESPON 1.1.1. Potentials for Polycentric Development in Europe. Končno poročilo. Stockholm.
- OECD 2002: Redefining Territories – The functional regions. Pariz.
- Resolucija o pogloblitnih smotrih in smernicah za urejanje prostora. Uradni list SRS 43/1973. Ljubljana.
- Strategija prostorskega razvoja Slovenije. Uradni list RS 76/2004. Ljubljana.



## VIZUALNO UGOTAVLJANJE SPREMEMB URBANIH POVRŠIN NA POSNETKIH LANDSAT Z UPORABO INDEKSA NDVI

**Urška Kanjir, dr. Tatjana Veljanovski, Aleš Marsetič, dr. Krištof Oštir**

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

*ursa.kanjir@zrc-sazu.si, tatjanav@zrc-sazu.si, alesm@zrc-sazu.si, kristof@zrc-sazu.si*

UDK: 528.8:711.4(497.4)

### POVZETEK

**Vizualno ugotavljanje sprememb urbanih površin na posnetkih Landsat z uporabo indeksa NDVI**  
V predstavljeni raziskavi smo preizkusili vizualno metodologijo za odkrivanje sprememb pokrovnosti tal, povezanih s širitvijo urbanih območij Osrednjeslovenske regije. Uporabili smo posnetke Landsat Thematic Mapper/Enhanced Thematic Mapper Plus iz leta 1992, 1999 in 2005. Vizualno interpretacijo sprememb urbanih površin smo izvedli z uporabo metode RGB-NDVI. Rezultat je bil pridobljen kot kompozit indeksov NDVI vhodnih posnetkov, sestavljenih v kombinaciji barv rdeča – zelena – modra, in predstavlja sorazmerno enostaven in učinkovit način odkrivanja sprememb urbanih površin.

### KLJUČNE BESEDE

*daljinsko zaznavanje, Landsat, analiza sprememb, urbane površine, metoda RGB-NDVI, suburbanizacija*

### ABSTRACT

#### **NDVI based visual change detection of urban areas on Landsat images**

*In this study we apply visual methodology to monitor land cover changes of urban areas in the Central Slovenia region. We employ multitemporal Landsat Thematic Mapper/Enhanced Thematic Mapper Plus images from 1992, 1999 and 2005. Visual interpretation of change detection has been performed using RGB-NDVI methodology. Results were acquired as a NDVI composite of Landsat images structured as a combination of red – green – blue bands, representing a good example of a visual change detection analysis.*

### KEY WORDS

*remote sensing, Landsat, change detection, urban areas, RGB-NDVI methodology, suburbanisation*

## 1 Uvod

Sprememba rabe urbanih zemljišč je neizogiben pojav, ki je še posebej značilen za mestna obrobja. Prebivalci držav v razvoju pospešeno migrirajo v urbana središča, medtem ko je za razvite države značilen pojav suburbanizacije oziroma razseljevanje prebivalstva iz strnjeno pozidanega urbanega območja na mestna obrobja. Slednje je značilno tudi za Slovenijo, kjer so lokacijski trendi privedli do relativno visoke stopnje bolj ali manj kaotične suburbanizacije ob relativno nizki stopnji urbane koncentracije. Delež mestnega prebivalstva pri nas je zgolj 54 %, saj nepričakovano velik del nekmetov živi v podeželskem prostoru (Čerpes s sodelavci 2007, 140). Individualna gradnja, ki se močno razlikuje od strnjenih naselij, je v zadnjih tridesetih letih prav gotovo eden od najmočnejših preoblikovalcev podobe slovenskih krajin (Kučan 1998, 34). Podrobno in ažurno poznavanje rabe tal je torej ob naštetih pestrosti urbanega življenja nujno za spremljanje in vrednotenje razvoja mesta, kot tudi za njegovo načrtovanje. Značilnost urbanih površin je predvsem njihova večja vsebinska in prostorska razdrobljenost v primerjavi s podeželskimi območji, kar pa predstavlja tudi večje težave pri njihovem uspešnejšem določevanju (Krevs 2004, 56).

Med temeljne alternativne vire podatkov o pokrovnosti in deloma tudi rabi tal sodijo predvsem interpretirani daljinsko zaznani podatki. Za preučevanje mestne rabe tal so najpogosteje v rabi tri vrste daljinsko zaznanih podatkov: večspektralni satelitski posnetki s prostorsko ločljivostjo okoli 20–30 m, v ortofoto »predelani« letalski posnetki s prostorsko ločljivostjo 2 m ali manj ter pankromatski in večspektralni satelitski posnetki z visoko ločljivostjo, to je velikostnega reda 1 m (Krevs 2004, 57). Pristopi daljinskega zaznavanja so širše uporabni, nudijo več informacij o geografski razporeditvi rabe zemljišč, so stroškovno učinkoviti, razširljivi in imajo vključeno časovno komponento. Kakovost geoprostorskih informacij, pridobljenih iz daljinsko zaznanih podatkov, je odvisna od več dejavnikov. Med njimi so najpomembnejši kakovost podobe, vrsta analize in interpretacijske tehnike ter številnih časovnih in fenoloških faktorji (Vogelmann s sodelavci 2001). Pri daljinsko zaznanih podobah zajetih v različnih časovnih obdobjih se primerja piksli/objekti ene in druge ali več podobe, da se pridobijo informacije o spremembi vsebine med obema podobama (angleško *change detection*).

Jensen (2007, 8) je splošna napotila za učinkovito odkrivanje sprememb na daljinsko zaznanih podatkih opisal s štirimi koraki: 1) definiranje narave problemov odkrivanja sprememb na izbranem območju, 2) opredelitev sistema daljinskega zaznavanja in okoljskih vidikov povezanih z odkrivanjem sprememb, 3) obdelava daljinsko zaznanih podatkov za pridobivanje informacij sprememb z uporabo ustreznih metod pridobivanja sprememb in 4) ocenjevanje rezultatov odkrivanja sprememb. S temi koraki lahko določimo spremembe pokrovnosti tal, ki so se zgodile na obravnavanem zemeljskem površju.

Treba je zapisati tudi nekaj osnovnih razlik med rabo tal (*land use*) in pokrovnostjo (*land cover*). Rabo tal lahko opredelimo kot namen, za katerega ljudje izkoriščajo nek kos zemljišča, je abstraktna in je včasih ne moremo določiti niti s podrobnim ogledom, medtem ko je pokrovnost konkretna in jo lahko kot tako neposredno opazujemo (Campbell 1996, 550; povzeto po Kokalj 2010, 86). Na primer, kos zemljišča, pozidanega z enodružinskimi hišami, lahko določimo kot urbano ali natančneje stanovanjsko rabo tal, medtem ko ima ta isti kos zemljišča pokrovnost iz streh, asfalta, trave in dreves. Razlika je pomembna za uspešno načrtovanje in gospodarjenje z zemljišči in postane pomembnejša, ko merilo raziskave postane večje in detajli podrobnejši (Campbell 1996, 550, povzeto po Kokalj 2010, 86).

Določevanje rabe/pokrovnosti tal v Sloveniji se je opravljalo do sedaj predvsem na kmetijskih in gozdarskih površinah na podeželskih območjih, medtem ko je bila redkeje določena raba/pokrovnost tal za celotno površje Slovenije, spremembe urbanih površin pa še redkokdaj (Krevs 2004, 56). Spreminjanje mestne rabe tal v Ljubljani in problematičnost obstoječih virov je omenil Krevs (2004) v raziskavi o spreminjanju kategorij poselitvene rabe zemljišč v Sloveniji v obdobju 1991–2002.

V tem članku je predstavljen daljinsko zaznani pristop k problemu določanja sprememb urbanih pokrovnosti tal ob uporabi Landsat posnetkov treh časovnih presekov z metodo RGB-NDVI. Uporabljena metoda daje točne vizualne rezultate sprememb pokrovnosti tal in je predvsem lahko opredeljiva. Pridobljene informacije v tej študiji kažejo na veliko uporabnost daljinsko zaznanih podatkov pri spremljanju povšja v velikem merilu.

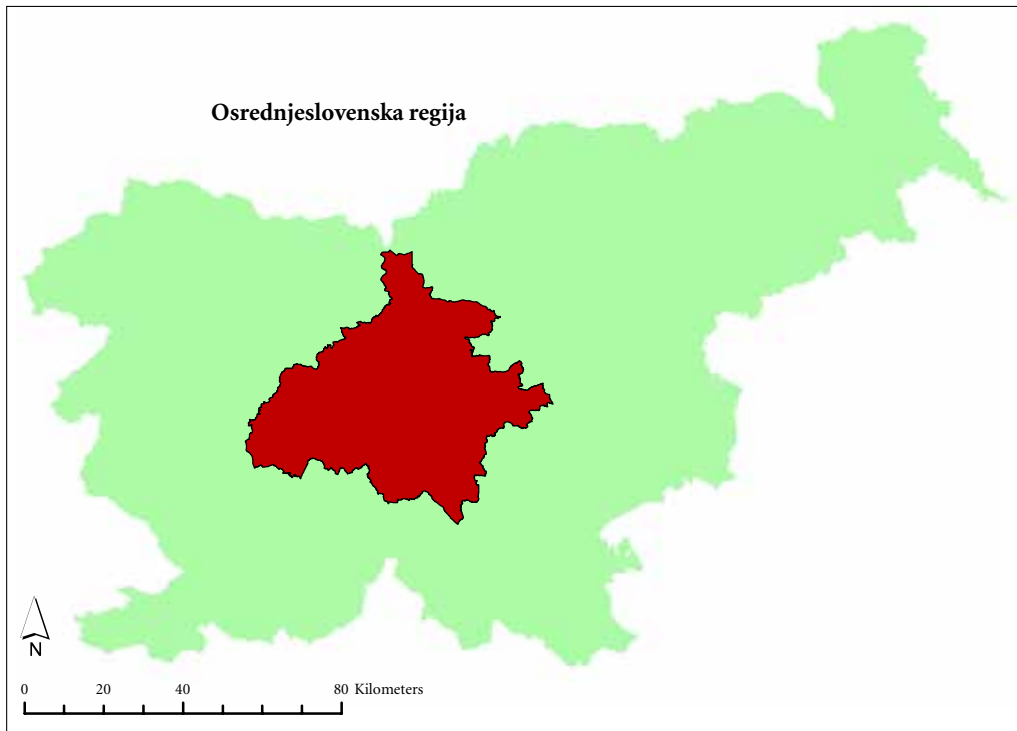
## 2 Študijsko območje

Daljnjsko zaznane podobe uporabljene v pričujočem delu so bile posnete leta 1992, 1999 in 2005 na območju Osrednjeslovenske regije.

Osrednjeslovenska regija je ena od dvanajstih regij v Sloveniji in jo sestavlja 26 občin, po površini meri 3546 km<sup>2</sup>. Za to območje je bila značilna prebivalstvena rast do konca sedemdesetih let, predvsem v Ljubljani ter satelitskih mestih v regiji, kot posledica priseljevanja ljudi iz ruralnih in manj razvitih delov Slovenije in preostale Jugoslavije. V osemdesetih in devetdesetih letih prejšnjega stoletja pa se začne tukaj oblikovati največje območje suburbanizacije v Sloveniji z okoli 150.000 prebivalci zaradi okrepljenega razseljevanja prebivalstva v obmestna naselja. Mestno središče Ljubljane in starejša stanovanjska območja zajame depopulacija (Rebernik 2004, 90). Takšno poselitev spodbujajo pomanjkanje in visoke cene stanovanj in zazidljivih zemljišč v Ljubljani in tudi v suburbaniziranih območjih (Rebernik 2004, 95).

## 3 Podatki

Študija je bila opravljena s tremi satelitskimi posnetki Landsat s prostorsko ločljivostjo 30 m, zajeti v več kot desetletnem časovnem razmiku med letoma 1992 in 2005. Vse tri podobe so bile posnete v poleti, oziroma v času srednje visoke kmetijske sezone rastlin, ko je večina kmetijskih zemljišč aktivno zelenih, kar poveča spektralne razlike med polji in golo zemljo oziroma urbanih območji. Posnetka iz leta 1992 in 2005 sta bila posneta s senzorjem TM (*Thematic Mapper*), na satelitu Landsat 5. Posnetek



Slika 1: Umestitev študijskega območja v prostor – Osrednjeslovenska regija.

iz leta 1999 je z razliko od prej omenjenih posnetkov posnet s senzorjem ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*), ki je nekoliko izboljšana različica senzorja TM, saj ima senzor poleg vseh kanalov svojega predhodnika še pankromatski kanal z ločljivostjo 15 metrov ter izboljšano prostorsko ločljivost termičnega kanala na 60 metrov (Oštir 2006, 90). Čeprav snemajo senzorji TM in ETM+ v sedmih kanalih in enem pankromatskem, je bilo za potrebe projekta pri vseh treh posnetkih uporabljenih samo šest kanalov; izločena sta bila termalni (zaradi slabše oziroma neenake ločljivosti med TM in ETM+) in pankromatski kanal (ker je prisoten samo na novejših posnetkih ETM+).

Osnovni pogoj, ki omogoča primerjavo več podob hkrati, je njihova natančna poravnava. Tovrstna primerjava namreč ni smiselna, če ne opazujemo podob, pri katerih istim pikslom ustrezajo isti deli površja (Oštir 2006, 162). Vse tri podobe so bile predhodno popravljene tudi z atmosfersko korekcijo in topografsko normalizacijo, prav tako pa so bile radiometrično standardizirane (Veljanovski 2007).

## 4 Metodologija

Sprememba rabe tal je postopek identifikacije in kvantifikacije časovnih razlik v stanju objekta ali pojava (Singh 1989). Natančen opis in določanje sprememb se lahko opravi na različne načine, tako z računalniško podprto analizo daljinsko zaznanih podob kot tudi z vizualno fotointerpretacijo. Digitalno določevanje sprememb površin je še posebej uporabno in priporočljivo za ugotavljanje sprememb na velikih območjih. V zadnjih treh desetletjih so bile razvite različne digitalne tehnike odkrivanja sprememb, ki se izvedejo v fazi pred ali po klasifikaciji vhodnih podatkov. Izbira posamezne tehnike je v veliki meri odvisna od posebnosti podatkov študijskega območja, od pričakovane spremembe površja ter od časovne in prostorske ločljivosti podatkov (Kaufman in Seto 2001). Predklasifikacijske metode lahko delimo na spektralne ali fenološke. V splošnem veljajo poklasifikacijske metode za bolj natančne, saj lahko z njimi spremembe tal na obravnavanem območju tudi kvantitativno ovrednotimo.

V tej študiji smo preizkusili predklasifikacijsko metodo RGB-NDVI, ki daje zelo dobre vizualne rezultate obdelanih podob. Potek postopka je podrobno opisan v sledečem podglavju in ilustriran na sliki 1.

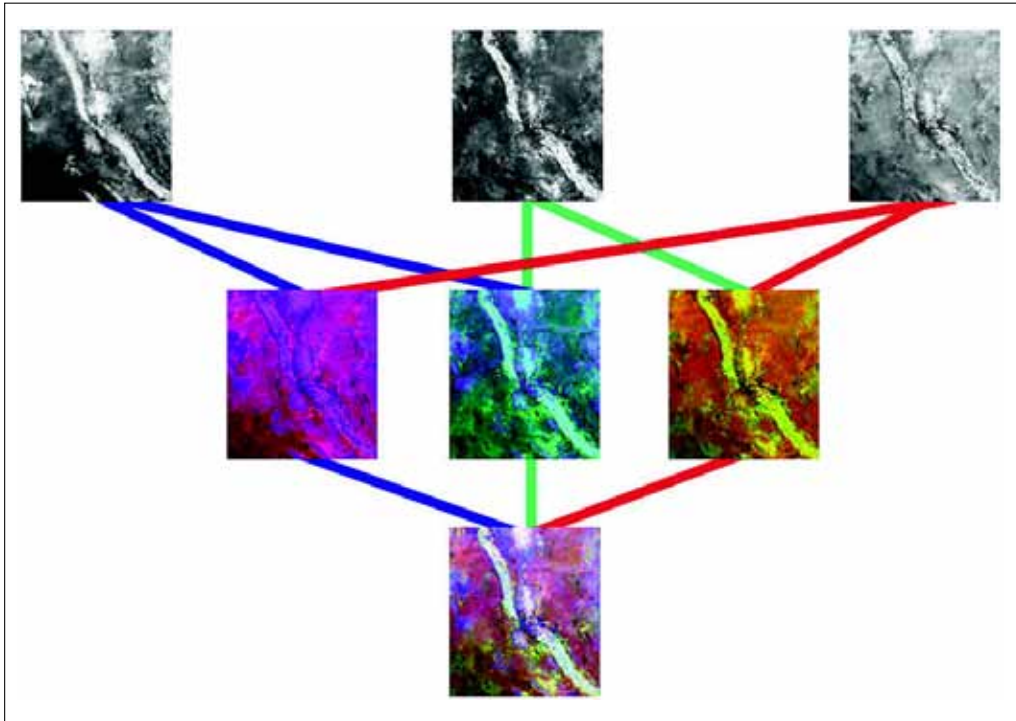
### Metoda RGB-NDVI

Metoda RGB-NDVI temelji na ustvarjanju kompozita podob NDVI satelitskih podatkov treh različnih obdobj. Večino kart, ki jih pridobimo s tehnikami za odkrivanje sprememb pokrovnosti tal, je težko vizualno interpretirati, kar pa ne velja pri metodi RGB-NDVI, saj pridemo do rezultatov odkrivanja sprememb zelo hitro. Rezultate je prav tako enostavno interpretirati, saj so območja sprememb dobro diskriminirana, poleg tega pa ta način omogoča sočasno primerjavo treh in ne samo dveh vhodnih podatkov (Gomez 1999).

Ena od glavnih prednosti te metode je, da temelji na izračunu normiranega diferencialnega vegetacijskega indeksa (NDVI), ki je eden najbolj razširjenih indeksov za opazovanje vegetacije. NDVI smo izračunali za vsako od treh satelitskih podob. Izhajali smo namreč iz predpostavke, da se na območju urbanih površin ne nahajajo večje površine vegetacije. NDVI predstavlja razmerje med razliko infrardečega in rdečega kanala in njuno vsoto:

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R} = \frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3}$$

V primeru satelita Landsat in senzorja TM in ETM gre pri tem indeksu za razmerje kanalov 4 in 3. NDVI zavzema vrednosti v razponu med -1 in 1. Zelena, zdrava vegetacija ima visoko vrednost NDVI-ja, saj klorofil absorbira rdečo svetlobo in močno odbija svetlobo v bližnjem infrardečem delu elektromagnetnega spektra, medtem ko ima nezdrava vegetacija in druge površine enak odboj v rdečem in infrardečem spektralnem območju in s tem nizko vrednost NDVI-ja (Oštir 2006, 165).



Slika 2: Kompozicijski diagram poteka združevanja treh časovno različno zajetih NDVI podob (povzeto po Gomez, 1999).

Rezultat računanja NDVI-ja je bil niz treh izvodov osembitnih sivih (monokromatskih) podob, kjer regije svetlih tonov predstavljajo območja z močno vegetacijo (gozd) in obratno, v temnih tonih so prikazana območja s šibko vegetacijo oziroma brez vegetacije (urbane površine).

Obdelovalne površine je z indeksom NDVI dokaj težko razločiti, saj so lahko predstavljene na podobi z zelo svetlimi toni (polja z gosto poraščeno vegetacijo) oziroma z zelo temnimi toni (polja tik po žetvi pridelkov).

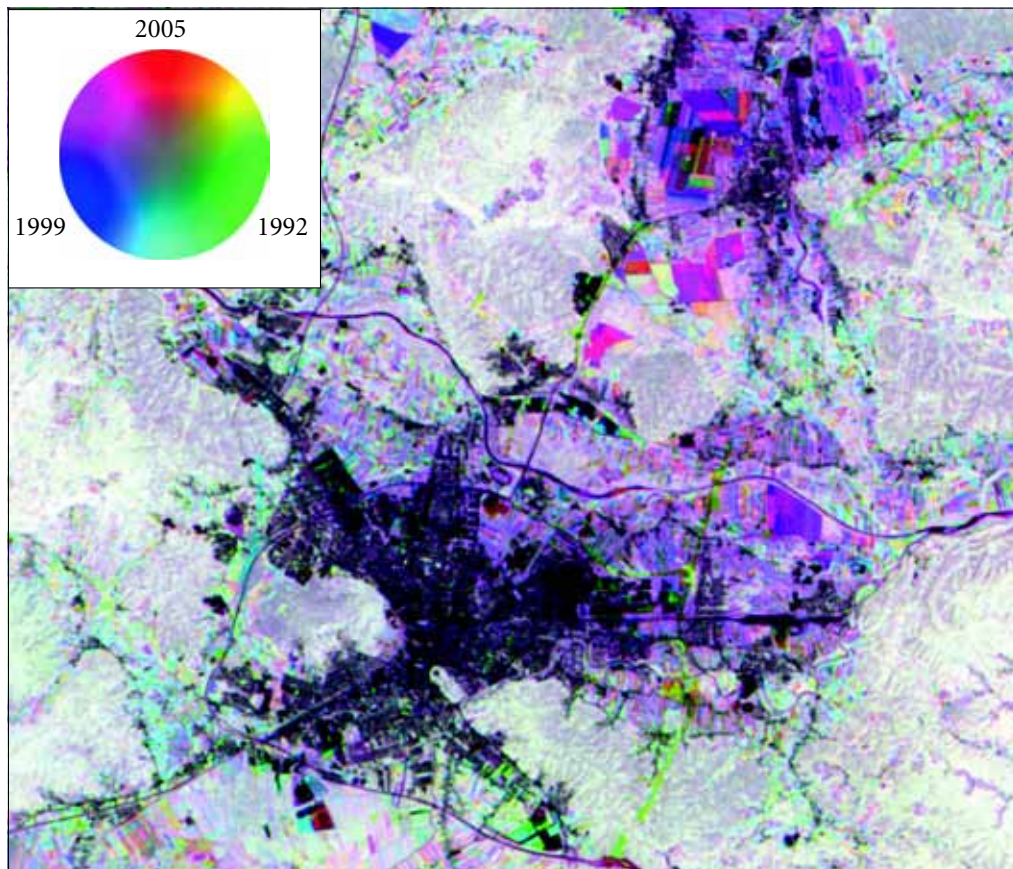
Vsaka od treh pridobljenih podob NDVI podob je bila nato dodeljena posameznemu kanalu sestavljene podobe (kompozita) RGB. Transformirana podoba iz leta 1992 je bila dodeljena zelenemu kanalu, podoba 1999 modremu ter podoba iz leta 2005 rdečemu kanalu. Ta kompozicijski proces lahko ponazorimo z zgornjim diagramom.

Pridobljena podoba s tremi NDVI kanali predstavlja spremembe urbanih površin med različnimi časovnimi obdobji na območju Osrednjeslovenske regije z rdečo, zeleno in modro barvo. Pri vizualni

*Razpredelnica 1: Barvni odtenki v relaciji s spremembami na posnetkih.*

brez spremembe	sprememba	barva
1992	1999, 2005	zelena
1992, 1999	2005	cian
1999, 2005	1992	magenta
1999	1992, 2005	rumena





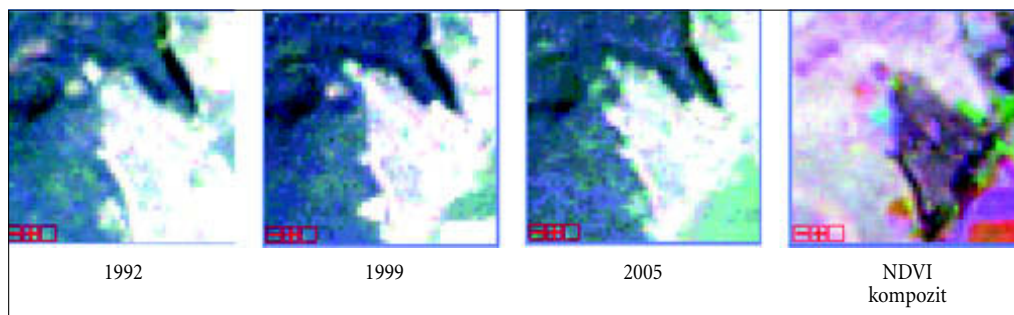
Slika 3: Primer kompozita RGB-NDVI na območju Ljubljane in okolice.

interpretaciji sprememb površin se zaradi prednosti glavni temi študije nismo ozirali pretirano na spremembe vegetacije, čeprav je le ta najbolj opazna, predvsem na obdelovalnih površinah (njive).

Na pridobljenem kompozitnem posnetku so vidne v črnih tonih neprepustne urbane površine brez sprememb ( $NDVI = 0$ ) ter v belih tonih prepustne površine vegetacije brez sprememb ( $NDVI > 0$ ). Spremembe, ki so se dogajale med posameznimi leti, so prikazane v barvni lestvici CMY.

## 5 Rezultati

Rezultati analize sprememb kažejo sistematično večanje urbanih površin med letoma 1992 in 2005 v Osrednjeslovenski regiji, kar se tudi sklada s pojavom suburbanizacije značilnim za to območje. Posledično so se zaradi večanja stanovanjskih stavb v mestnih obrobjih zaradi dnevnih, mesečnih in letnih migracij morale razširiti tudi glavne vpadne prometne linije oziroma ceste pomembnejših kategorij, tistih, ki jih je bilo pri dani ločljivosti podatkov še mogoče prepoznati. Na kompozitu (slika 3) je dobro viden priključek štajerske avtoceste s prestolnico v zeleni barvi (spremembe na posnetkih iz leta 1999 in 2005), ter gradnja avtocestnega odseka proti Gorenjski v barvi cian (sprememba na posnetku iz leta 2005).



Slika 4: Primerjava istega območja med vsemi leti in njihov kompozit.

Stanovanjske in industrijsko poslovne površine so zaradi manjših površin sprememb na tem posnetku manj očitne, se jih pa prav tako vizualno še zazna. Na sliki 4 je prikazano območje Trzina v vseh treh obdobjih in njihov NDVI kompozit, na katerem je z barvo cian dobro videna sprememba tal med letoma 1999 in 2005 – gradnja novega športnega parka.

## 6 Sklep

V opisani študiji smo uporabili serijo posnetkov Landsat za določitev analize sprememb urbanih površin v Osrednjeslovenski regiji z uporabo metode RGB–NDVI, kjer smo po aditivni barvni logiki zaznali spremembe urbanih površin. Pri uporabljeni ločljivosti 30 metrov je bilo mogoče zaznati le spremembe, ki so vplivale na velik del površja (npr. gradnja avtoceste, ki je že sama po sebi velik poseg v okolje). Pozitivna stran uporabljene metode je njen popolnoma samodejen, hiter in preprost postopek odkrivanja sprememb z zanesljivimi rezultati. Opisana metoda ugotavljanja sprememb bi bila primerna tudi za druga študijska območja, kjer bi bilo potrebno določiti spremembo urbanih oziroma ostalih tipov zemljišč, saj pridobljeni kompozit zagotavlja dobro prostorsko porazdelitev sprememb.

Kompoziti raznih prostorskih podatkov igrajo pomembno vlogo pri okoljskem opazovanju. Ti podatki se pogosto uporabljajo za razne prostorske meritve in ocene ter za spremljanje stanja in trendov v določenem času (Jones s sodelavci 1997), predvsem za vizualno interpretacijo. Kot vhodne podatke bi poleg podatkov daljinskega zaznavanja lahko uporabili tudi katerega od ostalih prostorskih virov (na primer relief) ter jih v nadaljnjih fazah tudi klasificirali, da bi prišli do kvantitativnega ovrednotenja sprememb urbanih ali drugih zemljišč.

## 7 Viri in literatura

- Abdulaziz, A. M., Hurtado, J. M., Aldouri, R. 2009: Application of multitemporal Landsat data to monitor land cover changes in the Eastern Nile Delta region, Egypt. *International Journal of Remote Sensing*. Bristol.
- Campbell, J. B. 1996: *Introduction to Remote Sensing*. New York
- Čerpes, I., Dešman, M. (ur.) 2007: *O urbanizmu. Kaj se dogaja s sodobnim mestom?* Ljubljana.
- Durieux, L. 2008: A method for monitoring building construction in urban sprawl areas using object-based analysis of SPOT5 images and existing GIS data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*.
- Gomez, O. F. 1999: Change detection of vegetation using Landsat imagery. Medmrežje: <http://www.cwrw.utexas.edu/gis/gishydro99/class/gomez/termproj.htm> (28. 4. 2010).

- Hayes, D. J., Sader, S. A. 2001: Comparison of change-detection techniques for monitoring tropical forest clearing and vegetation regrowth in a time series. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*.
- Jensen, R. R., Gatrell, J. D., McLean, D. 2007: *Geo – Spatial Technologies in Urban Environments. Policy, Practice and, Pixels*. New York.
- Jones, B. A., Ritters, K. H., Wickham, J. D., Tankersley Jr., R. D., O'Neill, R. V., Chaloud, D. J., Smith, E. R., Neale, A. C. 1997: *An ecological assessment of the United States mid-Atlantic region: A landscape atlas*. U. S. Environmental protection Agency. Washington.
- Kaufman, R. K., Seto, K. C. 2001: Change detection, accuracy and bias in a sequential analysis of Landsat imagery in the Pearl River Delta, China: econometric techniques. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 85.
- Kokalj, Ž. 2010: *Uporaba daljinskega zaznavanja pri modeliranju spremenljivk dinamičnega cestninjenja*. Doktorsko delo. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana.
- Krevs, M. 2004: *Spreminjanje urbane rabe tal v Ljubljani*. Dela 22. Ljubljana.
- Kučan, A. 1998: *Krajina kot nacionalni simbol*. Ljubljana.
- Oštir, K. 2006: *Daljinsko zaznavanje*. Ljubljana.
- Rebernik, D. 2004: *Razvoj prebivalstva v Ljubljanski urbani regiji*. Dela 22. Ljubljana.
- Sader, S. A., Winne, J. C. 1992: RGB-NDVI colour composites for visualizing forest change dynamics. *International Journal of Remote Sensing*. Bristol.
- Singh, A. 1989: *Digital change detection techniques using remotely sensed data*. International Journey of Remote Sensing. Bristol.
- Veljanovski, T. 2007: *Zaznavanje sprememb na površju s podatki daljinskega zaznavanja*. Doktorsko delo. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana.
- Vogelmann, J. E., Helder, D., Morfitt, R., Choate, M. J., Merchant, J. W. and Bulley, H. 2001: *Effect of Landsat 5 Thematic Mapper and Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus radiometric and geometric calibrations and corrections on landscape characterization*. Remote Sensing of Environment. New York.
- Walter, V. 2004: *Object-based classification of remote sensing data for change detection*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 58.
- Yang, X., Lo, C. P. 2002: *Using a time series of satellite imagery to detect land use and land cover changes in the Atlanta, Georgia metropolitan area*. International Journal of Remote Sensing. Bristol.
- Yuan, F., Sawaya, K. E., Loeffelholz, B. C. in Bauer, M. E. 2005: *Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing*. Remote Sensing of Environment. New York.

## **ANALIZA DOSTOPNOSTI PREBIVALCEV DO JAVNIH DEJAVNOSTI Z MEDKRAJEVNIM AVTOBUSNIM POTNIŠKIM PROMETOM**

**dr. Alma Zavodnik Lamovšek, dr. Marjan Čeh**

*Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani*

*alma.zavodnik@fgg.uni-lj.si, marjan.ceh@fgg.uni-lj.si*

**Uroš Košir**

*Locus d. o. o.*

*uros.kosir@locus.si*

UDK: 656.131(497.4)

91:659.2:004(497.4)

### **IZVLEČEK**

**Analiza dostopnosti prebivalcev do javnih dejavnosti z medkrajevnim avtobusnim potniškim prometom**

*Prispevek obravnava analizo dostopnosti prebivalcev do javnih dejavnosti v občinskih središčih s pomočjo medkrajevnega avtobusnega potniškega prometa. Pomemben del raziskave je tudi ugotavljanje deleža prebivalcev, ki te možnosti nimajo. Podobna raziskava je bila izvedena že leta 2008, vendar je v sedanji raziskavi območje obravnavane, v primerjavi s predhodno, ki je bila izvedena le za izbrane testne občine, razširjeno na celotno ozemlje Slovenije. Zaradi znatnega povečanja količine podatkov v tokratnem pristopu uporabljamo postopke za samodejno obravnavo ponavljajočih se GIS procesov. Analiza je pokazala tudi kakšna je razlika med dostopnostjo z rednim avtobusnim potniškim prometom in prevozom z osebnim avtom.*

### **KLJUČNE BESEDE**

*geoprocesni modeli, analiza dostopnosti, javne dejavnosti, avtobusni prevoz*

### **ABSTRACT**

**Citizens Accessibility Analyses to the Public Services by Intercity Bus transportation**

*Present analyses of citizens accessibility to the public services by intercity bus transportation in Republic of Slovenia is aimed to define the rate of population, which is not in position to use it. Compared to the published reserch from 2009, the extension of reserch area has been adopted to the terrirotry of whole Republic of Slovenia. The city bus transportation means are exclude from investigation. Due to great broadening of data amount involved in calculations we employed engine for automated repetition of geo-data processing. Results of the reserch has also indicated the differences of accessibility to comunity centers by bus and personal car as a transportation vehicle.*

### **KEY WORDS**

*geoproces models, accesibility analysis, public services, bus transportation*

## 1 Uvod

Avtobusni potniški promet je le eden izmed možnih javnih prevoznih sredstev, s katerim se poskuša zmanjšati uporabo osebnih avtomobilov. Po drugi strani je javni potniški promet tudi sredstvo za zagotavljanje osnovne mobilnosti prebivalstva, predvsem tistih socialnih in prebivalstvenih skupin, ki ne (z)morejo uporabljati osebnih oblik prevoza (Bele s sodelavci 2006, 2). V prispevku je opisana analiza dostopnosti prebivalcev do javnih dejavnosti s pomočjo avtobusnega potniškega prometa. Prvi korak pri analizi dostopnosti je bila izbira ustreznega storitvenega območja ter populacije, ki je od tega območja odvisna (Holm 1997). Pri izboru ravni opazovanja, smo se osredotočili na naselja, ki predstavljajo sedež občine in so temu ustrezno opremljeni z javnimi dejavnostmi (13. člen ZLS 2005). Javni potniški promet v Sloveniji je ne-integriran; delujejo v bistvu trije podsistemi, železniški, medkrajevni avtobusni ter mestni avtobusni promet (Blaž in Lep 2005).

Za namen raziskave in prikaz dostopnosti prebivalcev do javnih dejavnosti lokalne ravni s pomočjo javnega potniškega prometa smo se omejili na avtobusni prevoz, ki je glede na druge javne potniške sisteme najbolj razvejan in s tem dostopen največjemu številu prebivalcev. Avtobusni potniški promet se deli na mestni in medkrajevni potniški promet. Zaradi posebnih lastnosti in nezdružljivosti podatkov medkrajevnega ter mestnega potniškega prometa smo območja z uvedenim slednjim prometom izključili, tako da se celotna raziskava nanaša le na medkrajevni potniški promet. Dodatno smo omejili tudi avtobusne prevoze. Za raziskavo smo uporabili prevoze, ki se izvajajo med tednom; izločeni so bili prevozi med vikendi in šolski prevozi. Razlog za tako odločitev je dejstvo, da so prevozi med vikendi manj uporabljani (večina prebivalcev javni potniški promet uporablja za prevoz na delovno mesto). Poleg tega inštitucije, ki opravljajo storitve javnih dejavnosti lokalne ravni, ob koncu tedna ne delajo, medtem ko se šolski prevoz uporablja za posebno skupino prebivalcev. Z upoštevanjem vseh vrst prevozov, skupaj s tedenskim prevozom, bi v končnem rezultatu prikazoval nerealno stanje.

Namen prispevka je pokazati na dostopnost prebivalstva do javnih dejavnosti lokalne ravni v obstoječem sistemu javnega avtobusnega potniškega prometa. Poseben poudarek je dan skupini prebivalstva, ki zaradi oddaljenosti do avtobusnih postajališč ali celo odsotnosti avtobusnih linij te možnosti nima. V povezavi s tem je nakazan tudi odgovor glede pogostejše uporabe osebnih avtomobilov. Vsekakor pa je namen raziskave opozoriti tudi na pomanjkljivosti in možnosti uvedbe dodatnih ukrepov za izboljšanje sistema javnega (avtobusnega) potniškega prometa.

## 2 Metodologija

Za analize dostopnosti v prometu se lahko uporablja različna orodja: mrežna analiza, analiza voznih redov javnega prevoza, opazovanje na terenu, socialno-ekonomski modeli, kot sta gravitacijski model in regresijski model ipd. (Horak, Jurikovska in Sedenkova 2006, 1). S predhodno izdelano raziskavo (Čeh s sodelavci 2008) sta bila prikazana dva različnima modeloma izvedenima v GIS okolju za analizo dostopnosti do javnih dejavnosti lokalne ravni na primeru občin Duplek in Trebnje.

Sedanja raziskava pa je izvedena na območju celotne Slovenije za vse avtobusne prevoznike (AVRIS 2006). S tem je bil storjen korak dlje, saj je bilo treba s postopek analize v celoti avtomatizirati. Z uporabo ArcGIS programskega paketa smo sestavili geoproceneni model, ki takšno avtomatizacijo omogoča in s tem izjemno poveča učinkovitost obdelave podatkov v primerjavi s predhodnimi postopnimi pristopi (Čeh s sodelavci 2008). Geoproceneni model je organizacijski vidik dela z GIS orodji, ki omogoča učinkovitejše delo pri analizah in obdelavah prostorskih podatkov. ModelBuilder je grafično okolje za oblikovanje in izvedbo procesnih modelov, ki vključujejo sistemska orodja, skripte ter druge modele in podatke.

## 2.1 Storitveno območje sedeža občine

Vsako potovanje se začne in konča s hojo (Sabatini in Salvo 2008, 2). Povprečni pešec po ravnini hodi s povprečno hitrostjo 4,3 km/h. Za hojo največ 15 minut od doma ta razdalja ustreza 1075 metrov, kar za načrtovanje razmeščanja dejavnosti v prostoru predstavlja še sprejemljivo peš razdaljo (Pogačnik 1999, 150). Na podlagi tega merila je bil s pomočjo mrežne analize izračunan poligon, ki smo ga poimenovali storitveno območje sedeža občine (v nadaljevanju storitveno območje, slika 1). Gre torej za območje, ki obdaja sedež občine in je prebivalcem dostopno peš.

Predpostavili smo, da v storitvenem območju občine ljudje iz avtobusov zgolj izstopajo za namen uporabe javnih dejavnosti lokalne ravni. Zaradi te predpostavke so bile iz storitvenih območij občin izločena vsa avtobusna postajališča v radiju peš dostopnosti. Lokacije bivališč v storitvenih območjih občin smo opredelili kot neposredni dostop, saj imajo prebivalci neposreden dostop do javnih dejavnosti in zato ne potrebujejo javnega prevoza.

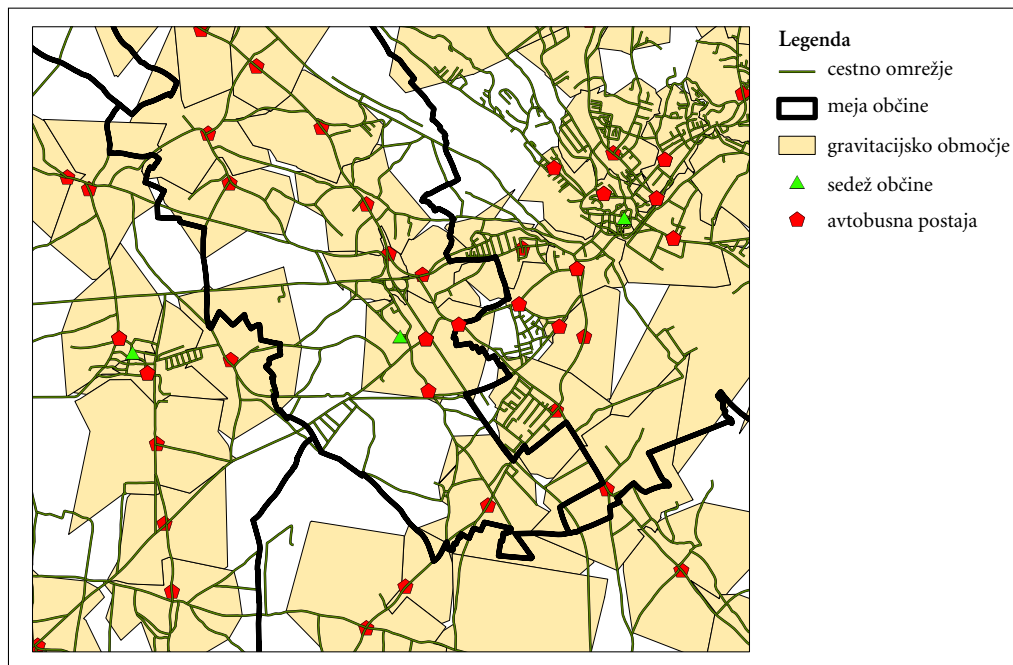
## 2.2 Gravitacijsko območje avtobusnih postajališč (posredni dostop)

V analizi je pri določitvi gravitacijskega območja postajališč, po analogiji peš dostopnosti uporabljena razdalja 1075 m. Prebivalci, ki imajo možnost dostopa do avtobusne postaje v tej razdalji, bodo najverjetneje to postajo uporabili tudi za svojo izhodiščno (vstopno) postajo za dostop do sedeža občine, zato smo gravitacijska območja postaj, ki so zunaj storitvenega območja občine, opredelili kot posredni dostop. Vsi prebivalci, ki ustrezajo temu pogoju, živijo v gravitacijskem območju avtobusne postaje in imajo zagotovljen posreden dostop do storitev v občini (v nadaljevanju gravitacijsko območje, slika 2).

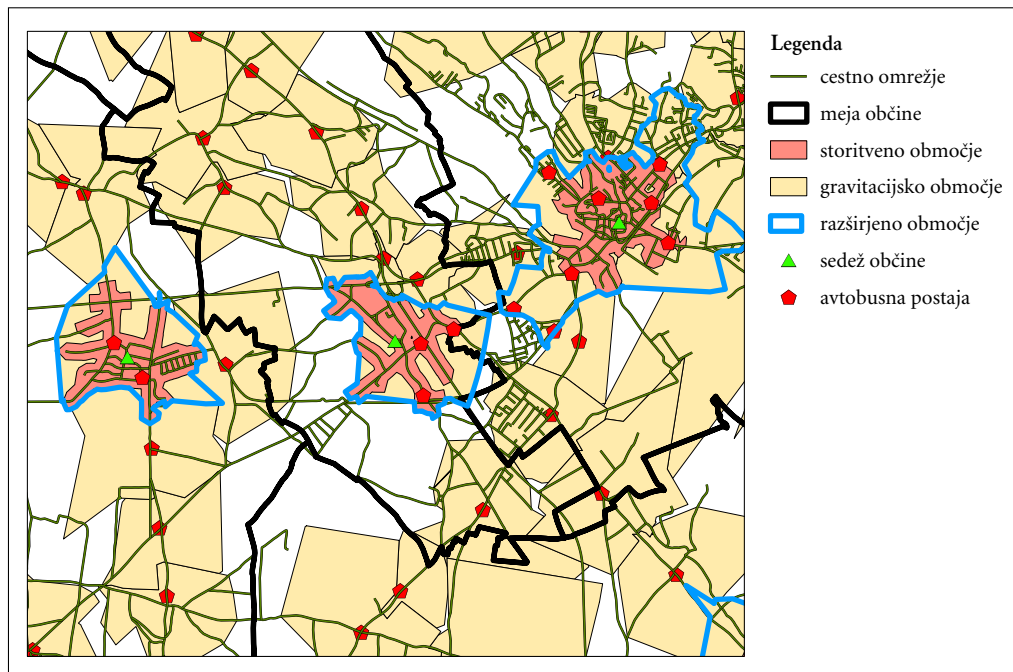
Nekatera gravitacijska območja postajališč (območja posrednega dostopa) segajo čez meje storitvenega območja občine. Iz tega razloga smo meje storitvenih območij občin povečali, tako, da smo



Slika 1: Storitveno območje.



Slika 2: Gravitacijsko območje.



Slika 3: Razširjeno storitveno območje.

območja storitvenih in gravitacijskih območij združili. Tako je bilo oblikovano skupno razširjeno storitveno območje občine (slika 3). To območje vsebuje vse prebivalce, ki so v peš dostopnosti sedeža občine (neposredni dostop), dodatno pa so vanj zajeti tudi vsi prebivalci, ki so v peš dostopnosti do avtobusne postaje (posredni dostop). Uvajamo poenostavitev, da prebivalci zunaj storitvenega območja občine, katerih prebivališča so vendarle locirana blizu meja storitvenega območja občine zaradi relativne bližine občinskega središča ne uporabljajo medkrajevnega avtobusnega prevoza za dostop do občinskega središča.

### 2.3 Dostopnost prebivalcev do sedeža občine z osebnim avtomobilom

Zadnja obravnavana skupina so prebivalci, ki nimajo niti posrednega (prek avtobusnih postajališč), niti neposrednega (ne živijo v storitvenem območju občine) dostopa do storitvenih dejavnosti v občinskem središču. Predpostavljamo, da zaradi oddaljenosti od avtobusnih postajališč uporabljajo za prevoz osebe avtomobile, kar je bila osnovna spodbuda, da smo v raziskavi izdelali tudi analizo dostopnosti do javnih dejavnosti lokalne ravni z osebnim avtomobilom.

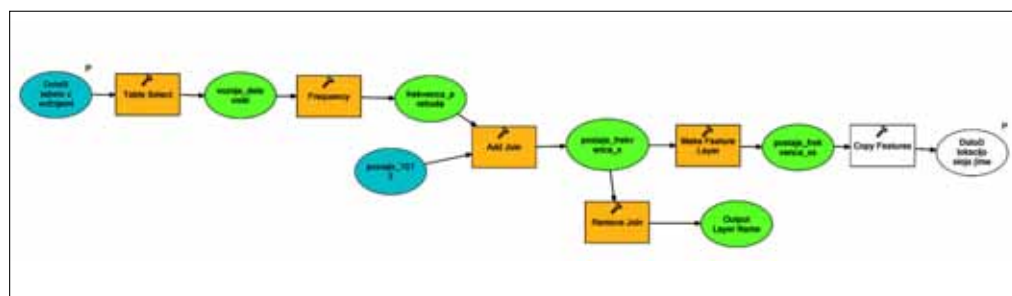
Pri analizi je bila uporabljena predpostavka, da je povprečna potovalna hitrost avtomobila 50 km/h. Za analizo smo izbrali pet minutni časovni interval potovanja z avtomobilom, na podlagi katerega smo določili časovne pasove potovanja do sedeža občine. Ob povprečni hitrosti vožnje avtomobila 50 km/h petminutni interval ustreza razdalji 4167 m. Tako smo izračunali število prebivalcev, ki biva-jo v posameznih potovalnih pasovih. Časovni pasovi so bili izračunani s pomočjo mrežne analize transportnih poti, položajev bivališč prebivalcev ter položajev sedežev občin.

### 2.4 Sestava geoprocenih modelov

Za avtomatizacijo postopka analize in sestave podatkov smo sestavili 11 geoprocenih modelov. Modeli so bili sestavljeni po načrtovanih fazah obdelave, pri katerih je bil končni produkt faze vmesni rezultat. V večini primerov je bil končni rezultat posameznega procesnega modela tudi vhodni podatek naslednjega, podrejenega modela. Razlog za sestavo več posameznih modelov (primer geoprocenega modela je prikazan na sliki 4) je bil bolj učinkovit nadzor postopka ter odprava morebitnih grobih napak v posamezni fazi izračuna.

## 3 Analiza dostopnosti do javnih dejavnosti lokalne ravni z medkrajevnim avtobusnim potniškim prometom

Analiza dostopnosti je pokazala razlike med številom prebivalcev glede na različne vrste dostopnosti (preglednica 1).



Slika 4: Prikaz sestave geoprocenega modela.



Preglednica 1: Primerjava števila prebivalcev med regijami po vrsti dostopa.

regija	neposredni dostop		posredni dostop		brez dostopa	
	število prebivalcev	%	število prebivalcev	%	število prebivalcev	%
Gorenjska	52.409	27	122.547	62	21.351	11
Goriška	31.756	27	54.580	47	29.709	26
Jugovzhodna Slovenija	37.447	27	62.699	46	36.059	26
Koroška	31.951	44	22.726	31	17.681	24
Notranjsko-kraška	18.557	37	15.816	32	15.405	31
Obalno-kraška	24.267	24	63.809	63	13.556	13
Osrednjeslovenska	89.178	19	229.898	48	155.805	33
Podravska	58.373	19	167.435	53	88.237	28
Pomurska	36.072	29	58.308	47	28.524	23
Savinjska	57.535	23	126.866	50	68.896	27
<b>Slovenija</b>	<b>470.183</b>	<b>24</b>	<b>978.381</b>	<b>50</b>	<b>503.530</b>	<b>26</b>
Spodnjeposavska	9960	14	37.289	54	22.302	32
Zasavska	22.678	50	16.408	36	6005	13

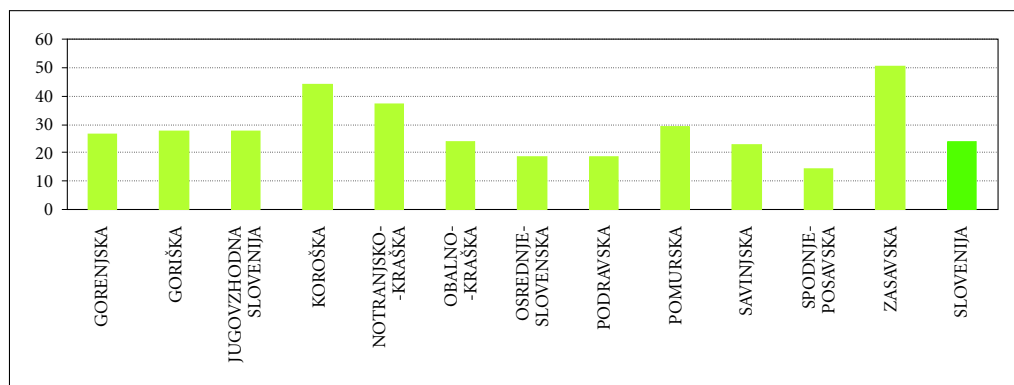
V Sloveniji ima 24 % (470.183) prebivalcev neposreden dostop do javnih dejavnosti lokalne ravni.

Slika 5 prikazuje delež prebivalcev po posameznih regijah, ki živijo v storitvenem območju in imajo neposreden dostop do javnih dejavnosti.

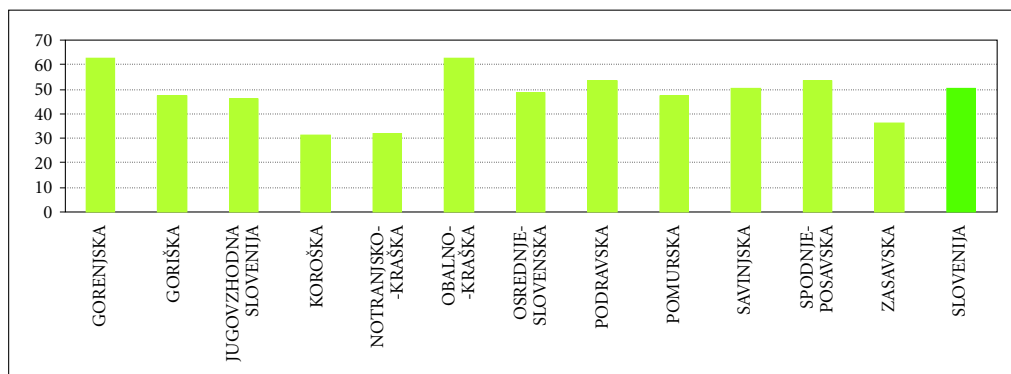
Število prebivalcev v gravitacijskem območju avtobusnih postajališč z omogočenim posrednim dostopom do javnih dejavnosti lokalne ravni je 978.381 oziroma 50 % (slika 6).

Za Slovenijo so značilne enodružinske hiše, ki se gradijo v odprtem, podeželskem prostoru, pogosto daleč zunaj mestnih naselij (urbanizacija vasi). Prav ti prebivalci dajejo posebno obeležje naši pokrajini. Posledica tega dejstva je tudi neracionalna oskrba z infrastrukturo (Pogačnik 1999, 8). To je tudi eden od glavnih razlogov, da v Sloveniji 503.530 (26 %) prebivalcev (slika 7) nima možnosti dostopa do avtobusnih postajališč rednih medkrajevnih avtobusnih linij, bodisi zaradi oddaljenosti od postajališča, saj zaradi nizke gostote poselitve, proge javnega potniškega prometa niso ekonomsko upravičene, bodisi zaradi naravno-geografskih značilnosti, in sicer tam, kjer vožnja z avtobusom zaradi slabe cestne infrastrukture ni možna.

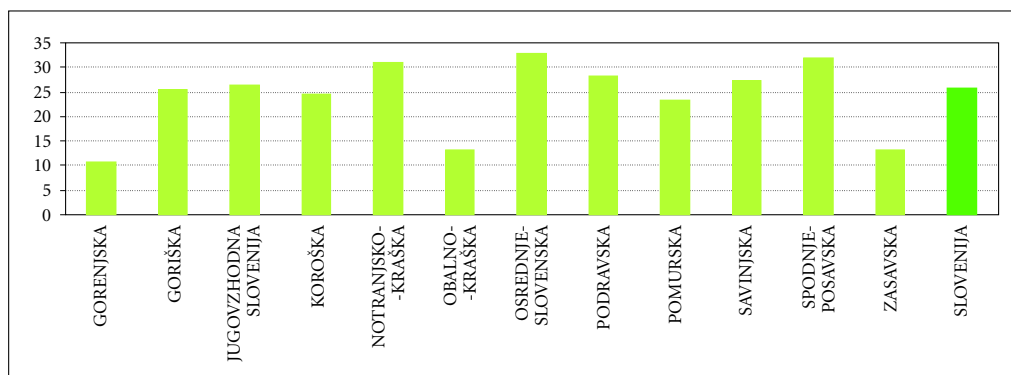
Kot potencialno število prebivalcev, ki ima zagotovljen dostop do javnih dejavnosti z javnimi avtobusnimi prevoznimi sredstvi, upoštevamo vse prebivalce, ki imajo neposredni dostop do občinskih središč



Slika 5: Delež prebivalcev z neposrednim dostopom do javnih dejavnosti lokalne ravni.



Slika 6: Delež prebivalcev s posrednim dostopom do javnih dejavnosti lokalne ravni.



Slika 7: Delež prebivalcev brez posrednega ali neposrednega dostopa do javnih dejavnosti lokalne ravni.

(živijo v storitvenem območju sedeža občine), ter vse prebivalce, ki živijo v gravitacijskem območju avtobusnih postajališč rednih medkrajevnih avtobusnih linij, kar pomeni, da so v območju pešaškega dostopa do najbližje avtobusne postaje in imajo do javnih dejavnosti lokalne ravni posredni dostop. Glede na rezultate raziskave ima kar 74 % (1.448.564) prebivalcev možnost neposrednega ali posrednega dostopa do javnih dejavnosti lokalne ravni v svoji občini. Delež prebivalcev, ki te možnosti nima, je 26 % (503.530 prebivalcev).

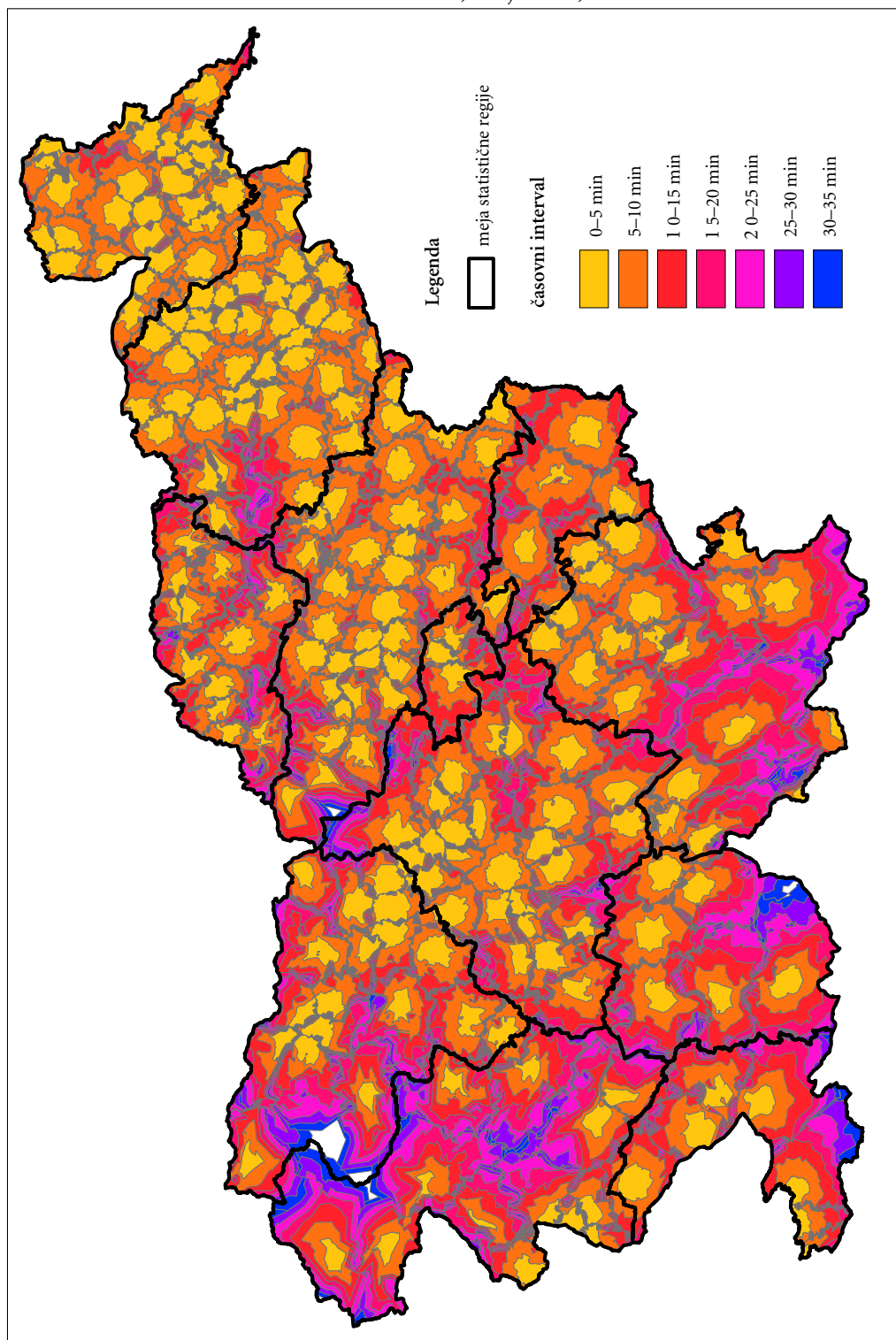
#### 4 Analiza dostopnosti prebivalcev do javnih dejavnosti z osebnim avtomobilom

Analiza dostopnosti do javnih dejavnosti lokalne ravni z javnim avtobusnim prometom je pokazala, da mora 26 % prebivalcev Slovenije v ta namen uporabiti druga prevozna sredstva. Največkrat se v ta namen uporabi osebni avto. Za primerjavo smo zato izdelali tudi analizo dostopnosti do javnih dejavnosti lokalne ravni z osebnim avtomobilom (slika 8).

Skupno število prebivalcev v posameznem časovnem pasu je razvidno iz preglednice 2. Glede na dobljene rezultate 65 % prebivalcev živi v območju petminutnega dostopa z osebnim avtom, v območju

Slika 8: Dostopnost prebivalcev do občinskih središč z osebnim avtom v pet-minutnih intervalih.

► (str. 258)

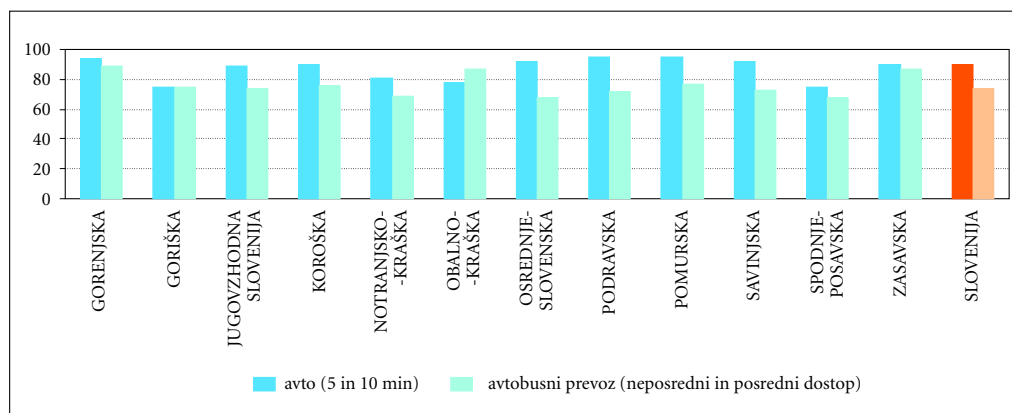


od pet- do desetminutnega dostopa pa 25 % prebivalcev. To pomeni, da ima 90 % prebivalcev ozemlja Slovenije desetminutno dostopnost do javnih dejavnosti lokalne ravni v primeru, da uporabijo za potovanje osebni avto. V ostalih intervalih skupaj ostane (10 %) prebivalcev. Ti prebivalci potrebujejo več kot 10 min (do 35 min), da se pripeljejo do sedeža občine.

Preglednica 2: Število prebivalcev v časovnem intervalu.

časovni interval	število prebivalcev	
	število	%
0–5 min	1.265.872	64,85
5–10 min	488.491	25,02
10–15 min	132.336	6,78
15–20 min	43.425	2,22
20–25 min	17.895	0,92
25–30 min	3610	0,18
30–35 min	465	0,02

Pri primerjavi dostopnosti do sedežev občin z javnim avtobusnim prevozom in osebnim avtom se je pokazal eden od možnih razlogov za večanje števila osebnih avtov in manjšanje deleža javnega avtobusnega potniškega prevoza v Sloveniji. Slika 9 prikazuje primerjavo dostopnosti prebivalcev do javnih dejavnosti glede na dva načina prevoza (osebni avto ter avtobus), razdeljeno po regijah Slovenije. Večina je dostopnost do občinskih središč z osebnim avtom pričakovano večja od dostopnosti z avtobusnim prevozom. K večji uporabi osebnih avtomobilov pa verjetno prispeva tudi večja udobnost potovanja ter neodvisnost od voznih redov javnih prevoznih sredstev.



Slika 9: Primerjava dostopnosti med avtobusnim prevozom in osebnim avtomobilom.

## 5 Sklep

V raziskavi smo skušali prikazati primer analize dostopnosti do storitev javnih dejavnosti lokalne ravni s pomočjo avtobusnega potniškega prometa in ugotoviti delež prebivalcev, ki te možnosti nimajo. Dodatno smo raziskavo dopolnili še z analizo dostopa z osebnim avtomobilom.

Slovenija ima zaradi naravnogeografskih značilnosti, družbenozgodovinskega razvoja in policentričnega razvoja naselij dobro razvejano cestno omrežje. Medkrajevni javni avtobusni promet je prav tako dobro razvejen. Kljub relativni razvejanosti medkrajavnega javnega avtobusnega prometa pa obstajajo območja, ki nimajo stika z rednimi avtobusnimi linijami oziroma imajo zgolj en ali dva prehoda avtobusa na dan. Razlike med posameznimi območji so glede na vrsto in frekvenco dostopnosti do javnih dejavnosti relativno velike. Ugotovili smo, da ima z uporabo osebnega avtomobila skoraj 90 % prebivalcev zagotovljeno dostopnost do javnih dejavnosti v času manj kot 10 minut, medtem, ko je delež prebivalcev, ki ima omogočen posredni ali neposredni dostop do sedeža občine z avtobusnim prevozom, le 74 %.

Z raziskavo smo potrdili tudi pričakovanja, da s pomočjo avtomatizacije postopkov GIS analiz lahko pokažemo dovolj zanesljivo sliko dejanske dostopnosti prebivalcev do javnih dejavnosti lokalne ravni z avtobusnim potniškim prometom. S samimi rezultatom pa želimo prispevati tudi k razmisleku o izboljšanju javnega potniškega prometa, ki naj v bodoče temelji tudi na alternativnih oblikah. Na ta način bo lahko dostopnost do javnih dejavnosti lokalne ravni bistveno izboljšanja za vse prebivalce, ne le tiste, ki sedaj te možnosti z javnimi oblikami potniškega prometa sploh nimajo. Z dobro organizacijo javnega potniškega prometa in uporabo alternativnih oblik pa bo mogoče vplivati tudi na zmanjševanje uporabe osebnih avtomobilov.

V nadaljevanju raziskovanja pa je mogoče s podobnim postopkom ponoviti analizo dostopnosti, v kateri bo istočasno upoštevan medkrajevni in mestni avtobusni potniški promet. Tako bi tudi znotraj večjih mestnih območij lahko pridobili natančnejše podatke glede dostopnosti do javnih dejavnosti lokalne ravni, ki niso nujno koncentrirane le v središču naselja.

## 6 Viri in literatura

- AVRIS (Avtobusni voznoredni informacijski sistem) 2006. Fakulteta za gradbeništvo. Maribor. Medmrežje: <ftp://fg.uni-mb.si/Avris> (3. 12. 2007).
- Bele, J., Blaž J., Đurić, A., Lep, M. 2006: Perspektive javnega potniškega cestnega prometa v Sloveniji. Medmrežje: <http://www.drc.si/LinkClick.aspx?fileticket=5dJmH7ooTrg%3D&tabid=83&mid=416> (6. 2. 2009).
- Blaž, J., Lep, M. 2005: Položaj JPP v Sloveniji – kratka analiza stanja. Medmrežje: [http://www.regiomove.at/\\_lccms\\_/downloadarchive/00013/LepBlažPR\\_SLO.pdf](http://www.regiomove.at/_lccms_/downloadarchive/00013/LepBlažPR_SLO.pdf) (6. 2. 2009).
- Čeh, M., Kiderič, D., Zavodnik Lamovšek, A., Rom, J. 2008: Analiza dostopnosti prebivalstva do javnih dejavnosti z javnim potniškim prometom s pomočjo dveh GIS gravitacijskih modelov. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008. Ljubljana.
- Direkcija Republike Slovenije za ceste. Medmrežje: <http://www.dc.gov.si> (3. 12. 2007).
- Geodetska uprava Republike Slovenije. Medmrežje: <http://www.gu.gov.si> (3. 12. 2007).
- Holm, T. 1997: Using GIS in mobility and accessibility analysis. Medmrežje: <http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc97/proc97/to450/pap440/p440.htm> (7. 2. 2009).
- Horak, J., Jurikovska, L., Sedenkova, M. 2006: Analysis of traffic accessibility of employers. Medmrežje: [http://plone.itc.nl/agile\\_old/Conference/2006-Visegrad/papers/sedenkova\\_horak.pdf](http://plone.itc.nl/agile_old/Conference/2006-Visegrad/papers/sedenkova_horak.pdf) (7. 2. 2009).
- Plevnik, A. 2007: Plan B za Slovenijo, pobuda za trajnosti razvoj 1.0. Medmrežje: <http://www.planbz-slovenijo.si> (18. 4. 2009).
- Pogačnik, A. 1999: Urbanistično planiranje. Ljubljana.
- Sabatini, S., Salvo, G. 2008: A GIS approach to evaluate bus stops accessibility. Medmrežje: <http://www.iasi.cnr.it/ewgt/16conference/ID108.pdf> (7. 2. 2009).
- Zakon o lokalni samoupravi. Uradni list RS 100/2005. Ljubljana.

## **SIJPRIS – GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SISTEM ZA UPRAVLJANJE JAVNEGA POTNIŠKEGA PROMETA**

**dr. Andrej Tibaut, dr. Marjan Lep**

Fakulteta za gradbeništvo, Univerza v Mariboru  
andrej.tibaut@uni-mb.si, lep@uni-mb.si

**mag. Dušan Fajfar**

IGEA d. o. o.  
dusan.fajfar@igea.si

**dr. Matej Gabrovec**

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

UDK: 91:659.2:004  
656.121

### **IZVLEČEK**

#### **SIJPRIS – geografski informacijski sistem za upravljanje javnega potniškega prometa**

SIJPRIS je geografski informacijski sistem, ki je bil po naročilu Direkcije Republike Slovenije za ceste pripravljen za upravljanje gospodarske javne službe javnega medkrajevnega avtobusnega prometa. Sistem omogoča z zakonom predvidene naloge koncedenta, te so predvsem izdelava in vzdrževanje daljinarja, izdelava in vzdrževanje voznorednega registra ter podpora pri poslovanju s koncesionarji. Tem osnovnim administrativnim nalogam so dodane še naloge načrtovanja in analiziranja javnega potniškega prometa. Spletni pregledovalnik omogoča uporabnikom grafični prikaz vseh podatkov v bazi prometnih podatkov. SIJPRIS je zasnovan tako, da bo vanj v prihodnosti možno vključiti tudi druge oblike javnega potniškega prometa. V članku so opisani izvirni rezultati projekta s področja modeliranja javnega potniškega prometa, modeliranja ponudbe in povpraševanja in informacijskih pristopov, ki so vodili k nastanku SIJPRIS.

### **KLJUČNE BESEDE**

javni potniški promet, geografski informacijski sistem, spletni pregledovalnik

### **ABSTRACT**

#### **SIJPRIS – Geographical Information System for the Management of Public Passenger Transport**

SIJPRIS is geographical information system, made to the order of the Slovenian Road Agency for the management of the economic public service of the public inter-urban bus transport. The system makes possible the implementation of conceder's tasks stipulated by law, which consist primarily of the making and maintenance of fare scales, the making and maintenance of time-schedule register and the support to running business with concessioners. Added to these basic administrative tasks are also the tasks of planning and analysing public passenger transport. The web browser provides the users with graphic presentation of all the information from the central transport database. SIJPRIS is designed in such a way that in the future it will be possible to include other forms of public passenger transport in it as well. The paper presents original results from public transport modelling, transport service demand and supply modelling and IT development approaches that resulted in SIJPRIS.

### **KEY WORDS**

public passenger transport, geographical information system, web map service

## 1 Uvod

V Sloveniji do leta 2000 ni bilo poenotenega zbiranja ključnih podatkov o javnem potniškem prometu. V letu 2000 je Direkcija Republike Slovenije za ceste (v nadaljevanju DRSC) pričela uporabljati programski sistem AVRIS, ki je omogočal pripravljanje, usklajevanje in registracijo avtobusnih vozniških redov, a brez atributov o legi postajališč (Lep in Tibaut 1999). V letu 2004 so bili podatkovni model in orodja nadgrajeni tako, da so omogočali sistematično zbiranje podatkov o legi postajnih vstopnih točk in posledično tudi prikazovanje avtobusnih linij (Lep s sodelavci 2004). Te so bile prikazane kot lomljenka, saj tako imenovano polaganje linij na infrastrukturo oziroma povezava z banko cestnih podatkov v praksi ni bila realizirana.

Z novimi nalogami, ki jih je upravljavcu javnega avtobusnega prometa naložila zakonodaja, pa tudi zaradi tehnološke zastarelosti AVRIS-a, je bil izdelan prenovljen informacijski sistem, poimenovan SIJPRIS (Tibaut s sodelavci 2009). Med tehnološkimi razlogi so bili v ospredju delovanje v spletnem okolju ter zahteva po zanesljivejšem in robustnejšem sistemu za upravljanje z relacijskimi podatkovnimi bazami. Potrebe po vsebinski poglobitvi pa so bile predvsem:

- prehod na bolj natančno obravnavanje postajnih točk,
- prehod na bolj natančno opisovanje itinerarjev, vključno z natančnejšimi izmerami dolžin,
- uvajanje pojma linija kot uporabnikom bolj logičnega pojava zelo sorodnih vozniških redov,
- uvajanje pojma linija kot osnovne obračunske enote za bolj realistično spremljanje prihodkov, prepeklanih potnikov in stroškov,
- vpeljevanje dinamičnega spremljanja in arhiviranja vseh postopkov pri upravljanju z voznorednim registrom ter
- uporabniku prijazno grafično prikazovanje ponudbe in povpraševanja.

Raziskava in analiza javnega linijskega avtobusnega prevoza potnikov je rezultirala v sistemu SIJPRIS. Po Zakonu o prevozi v cestnem prometu (2006) ima le-ta več pojavnih oblik (medkrajevni redni, posebni, občasni, mestni, mednarodni). Predmet obravnave sistema SIJPRIS-a je gospodarska javna služba medkrajevnega javnega linijskega prevoza potnikov v cestnem prometu. Namen sistema SIJPRIS je nuditi po zakonu zadolženemu upravitelju sistema (DRSC) čim več podatkov in funkcij, s katerimi bo lahko upravljal sistem gospodarske javne službe.

Sistem SIJPRIS pa je ob tem zgoraj zapisanem osnovnem poslanstvu zastavljen tako, da bo **upravitelj** (DRSC) imel možnost razširiti vpogled tudi v vsebine, ki pomembno vplivajo na njegovo osnovno dejavnost. To so predvsem:

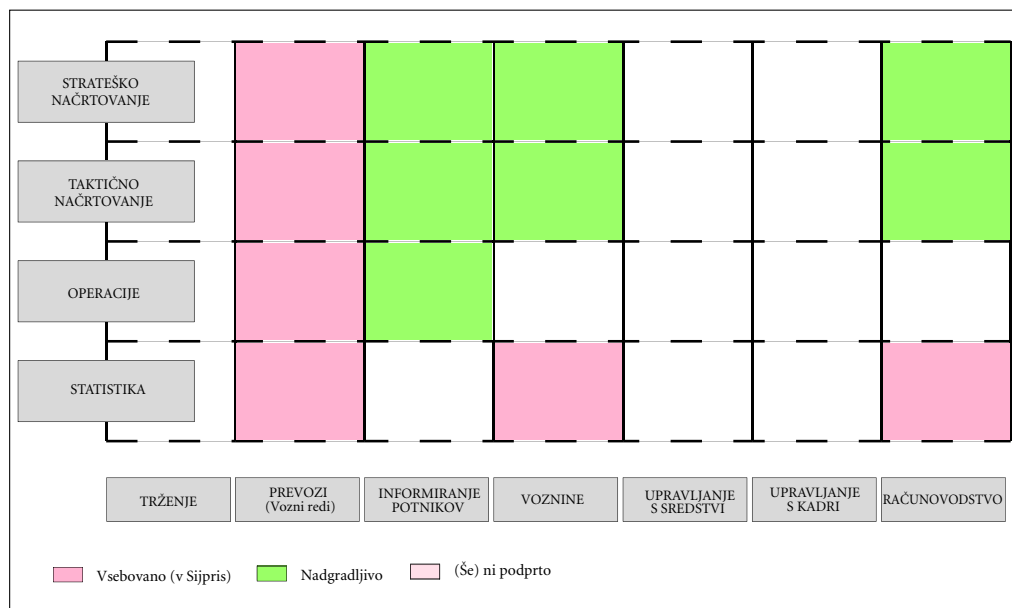
- posebni linijski prevozi potnikov v avtobusnem prometu,
- ostale vrste javnega prevoza potnikov,
- mednarodni prevozi potnikov v avtobusnem prometu,
- poselitvena sestava obravnavanega območja s potenciali povpraševanja po storitvah javnega potniškega prometa,
- poslovanje koncesionarjev oziroma pogodbenikov.

## 2 Konceptualni model javnega potniškega prometa

Pri snovanju novega oziroma prenovljenega sistema sta se odpirali dve osnovni vprašanji:

- ali in v kakšni meri uporabiti standarde za modeliranje podatkov, ki so se medtem pričeli sprejemati in objavljati (SIST EN 2006) ter
- katere funkcionalnosti in na kateri ravni upravljanja naj sistem podpira?

V splošnem obstaja veliko pristopov k obravnavi tematike javnega prevoza potnikov (JJP). Skupni imenovalac vseh pristopov je maksimizirati učinkovitost JJP-ja (Sampaio s sodelavci 2008).



Slika 1: Ravni upravljanja sistema javnega potniškega prometa in funkcionalna področja (Jesty in Bosom 2000).

Pristopi so odvisni predvsem od naloge primarnega uporabnika – upravitelja (v našem primeru DRSC). Upravitelj je zadolžen predvsem za upravljanje s prevozi oziroma prevozniki, kjer so ključne naloge:

- naročiti oziroma koncesionirati in potrjevati obseg prevozov ter
- upravljati s pogodbami, vključno z obračunavanjem in izplačevanjem kompenzacij (Estupinan s sodelavci 2008).

Da bi te naloge upravitelj uspešno opravljal, mora biti sposoben do določene mere:

- načrtovati ponudbo, torej spremljati povpraševanje po prevozih,
- upravljati z avtobusno infrastrukturo (postajališči),
- spremljati obseg prepeljanih potnikov, kakor tudi prihodke iz dejavnosti koncesij,
- posredovati določene podatke o izvajanju gospodarske javne službe prometnemu inšpektoratu,
- posredovati določene podatke o ponudbi gospodarske javne službe uporabnikom (potnikom).

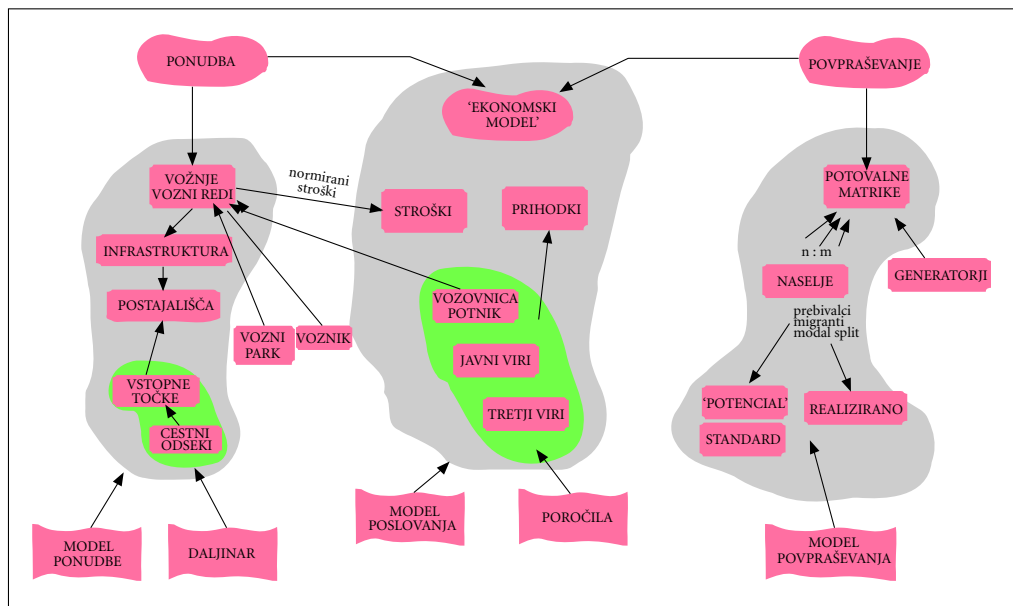
V sistemu, kot ga imamo v Sloveniji, pa upravitelj ne izvaja prodaje vozovnic in operativnega načrtovanja prevozov (izdaje potnih nalogov za voznike in avtobuse). Kot rezultat tega razmisleka in sistemskih omejitev je bil pripravljen logični model JPP (slika 2).

V sistemu SIJPRIS, pa tudi splošno v prometni stroki, za opisovanje **ponudbe** uporabljamo izraz **daljinar** za opisovanje elementov poti (postaje, razdalje med njimi in časi voženj med njimi) ter izraz **vozni redi** za opisovanje, kako se avtobusi pomikajo po času in prostoru.

**Povpraševanje** zapisujemo kot lastnosti posameznih generatorjev in atraktorjev prometa (število prebivalcev, sestava prebivalcev, število delovnih mest itd.) ter kot potovalne matrike, to je kot številčni opis potovanj med dvema prometnima conama.

**Prihodke** kot elemente ekonomskega modela v sistemu gospodarske javne službe ugotavljamo posredno na podlagi poročil koncesionarjev. **Stroške** kot elemente ekonomskega modela v sistemu SIJPRIS razumemo kot normirane stroške na podlagi opravljenih kilometrov prevozov.





Slika 2: Logični model JPP.

### 3 Model ponudbe

V literaturi ni enotnega modela ponudbe. V modelu ponudbe obravnavamo infrastrukturo in vozne rede.

**Infrastrukturo** sestavljajo:

- postajne točke kot infrastrukturni pojav v realnem svetu,
- postaje kot abstrakten pojem, ki ga uporabljamo v voznorednih obrazcih, informiranju in obveščanju potnikov,
- segmenti linijskih odsekov kot deli cestnega omrežja, ki omogočajo opisovanje linijskih odsekov,
- linijski odseki kot infrastrukturni pojav v realnem svetu, ki omogočajo opisovanje gibanja avtobusa po cestnem omrežju.

Segmenti linijskih odsekov ter linijski odseki omogočajo tako imenovano polaganje na infrastrukturo, kar je v bistvu eksplicitni ali implicitni zapis, po katerih cestnih odsekih se pride od postajne točke A do postajne točke B. S tem, ko linijski odsek položimo na cestno infrastrukturo, je določena njegova lastnost **dolžina**.

**Vozni red** sestavljajo:

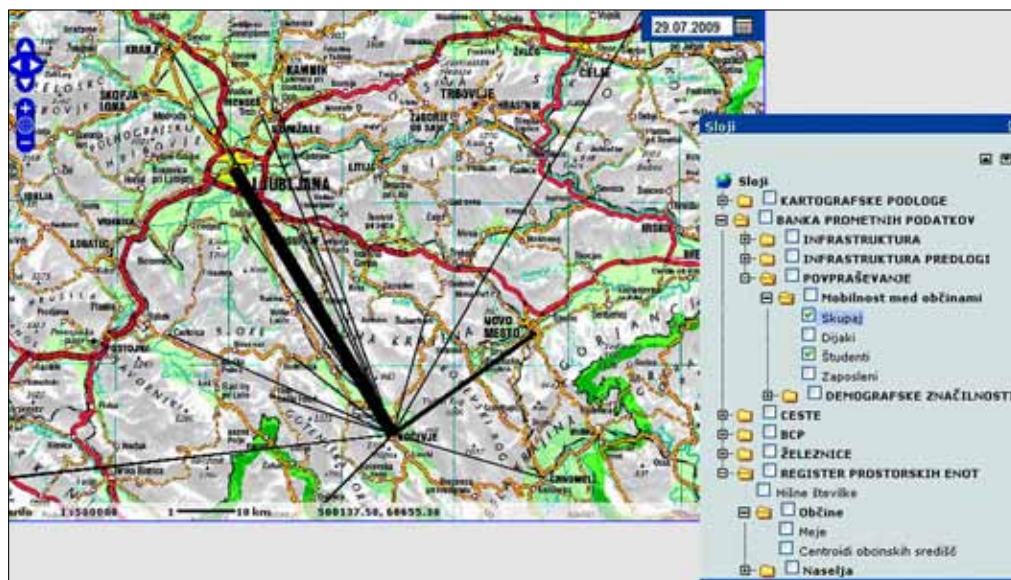
- **itinerar** kot usmerjeno zaporedje postajnih točk; itinerar sestavimo na podlagi daljinarja tako, da generiramo zaporedje linijskih odsekov;
- **linija** kot skupina itinerarjev, ki jih uporabniki oziroma potniki dojemajo kot sorodne, prevoznik oziroma upravitelj pa jih obravnavajo kot obračunsko enoto; pripadnost nekega itinerarja k neki liniji ni ostro oziroma algoritemsko enolično določljiva;
- **vožnje**, kjer so itinerarjem pripisani časi prihodov in odhodov na posamezne postajne točke, obratovalni režimi, izvajalci itd.

**Čas vožnje** ni geometrijska ali geografska lastnost in je torej, četudi je lastnost linijskega odseka, del voznorednih in ne daljinarskih podatkov. Predlagani model ponudbe je izpeljan iz referenčnega modela Transmodel, ki je podlaga za SIST EN 2006.

## 4 Model povpraševanja

Model povpraševanja ima v SIJPRIS-u svojstven položaj. Ni namenjen prvenstveno neposrednemu upravljanju avtobusnega medkrajevnega linijskega prometa, ampak bolj strateškemu načrtovanju omrežja javnega potniškega prometa. Zanima nas povpraševanje po prevoznih storitvah na določeni poti, pri čemer zajamemo vse prebivalce, ki zaradi različnih namenov redno ali občasno potujejo iz točke A v točko B. Za načrtovanje javnega potniškega prometa, kjer imamo za cilj pridobitev novih potnikov oziroma spreminjanje izbora prometnega sredstva v prid javnemu prevozu, moramo poznati celotno povpraševanje po prevoznih storitvah, ne le število današnjih uporabnikov javnega potniškega prometa. Zato je treba zbirati različne statistične podatke in jih vključiti v podatkovno bazo SIJPRIS. Na podlagi podatkov o povpraševanju je Vlada Republike Slovenija določila standarde dostopnosti v Uredbi o načinu izvajanja gospodarske javne službe javni linijski prevoz potnikov v notranjem cestnem prometu in o koncesiji te javne službe (2009). Ti standardi so bili pripravljene na podlagi raziskovalne naloge (Gabrovec s sodelavci 2006), ki je bila pripravljena po naročilu Ministrstva za promet. Povpraševanje je dinamičen pojav, zato je tudi v SIJPRIS-u predvideno letno osveževanje podatkov. Podatki povpraševanja so pripravljene v treh preglednicah. Podatki prvih dveh preglednic omogočajo izračun standardov dostopnosti v skladu z vladno uredbo (Uredba o načinu ... 2009). V njih so zbrani podatki o atraktorjih in generatorjih potovanj po naseljih ter potovalne matrike med občinami. Pri tem so bili uporabljeni podatki različnih registrov, ki jih vzdržuje Statistični urad Republike Slovenije (Statistični urad ... 2008; 2009a, b). Na sliki 3 so (v SIJPRIS.WebGIS) prikazani prebivalci s stalnim bivališčem v občini Kočevje glede na kraj dela oziroma šolanja.

Tretja preglednica omogoča še bolj podrobno načrtovanje javnega potniškega prometa, saj so v njej zbrani podatki o številu stalnih in začasnih prebivalcev po posameznih hišnih številkah (Ministrstvo za notranje ... 2009). Na podlagi teh podatkov bo mogoče izračunati število prebivalcev, ki živijo v določeni oddaljenosti od postajališč javnega potniškega prometa (Gabrovec in Bole 2006). Tako bo mogoče načrtovati spremembe omrežja javnega potniškega prometa in preverjati politične cilje o deležih prebivalcev z ustrežno dostopnostjo do javnega potniškega prometa.



Slika 3: Povpraševanje – mobilnost med občinami (vir: Statistični urad RS).

## 5 Procesi

Modeliranje poslovnega procesa je zajem urejenega zaporedja aktivnosti realnega sveta. Z izvajanjem zaporedja aktivnosti proces dosega svoje cilje.

Raziskava procesov javnega potniškega prometa je pokazala, da se ključni procesi nanašajo na daljinar, ponudbo in ekonomski model. V preglednici 1 so prikazani vsi procesi, ki jih podpira SIJPRIS.

*Preglednica 1: Procesi, ki jih podpira SIJPRIS.*

procesi daljinarja	procesi ponudbe	procesi povpraševanja	procesi ekonomskega modela
nova postaja sprememba postaje	nova linija sprememba linije		novo koncesijsko poročilo sprememba koncesijskega poročila
ukinitev postaje nov linijski odsek sprememba linijskega odseka ukinitev linijskega odseka	ukinitev linije nov režim sprememba režima ukinitev režima		

Zgoraj opisani procesi so modelirani s pomočjo notacije BPMN (*Business Process Modelling Notation*), ki ima veliko predstavitveno moč. Rezultat modeliranja so diagrami poteka z dodatnimi informacijami, ki olajšajo komunikacijo s končnimi uporabniki.

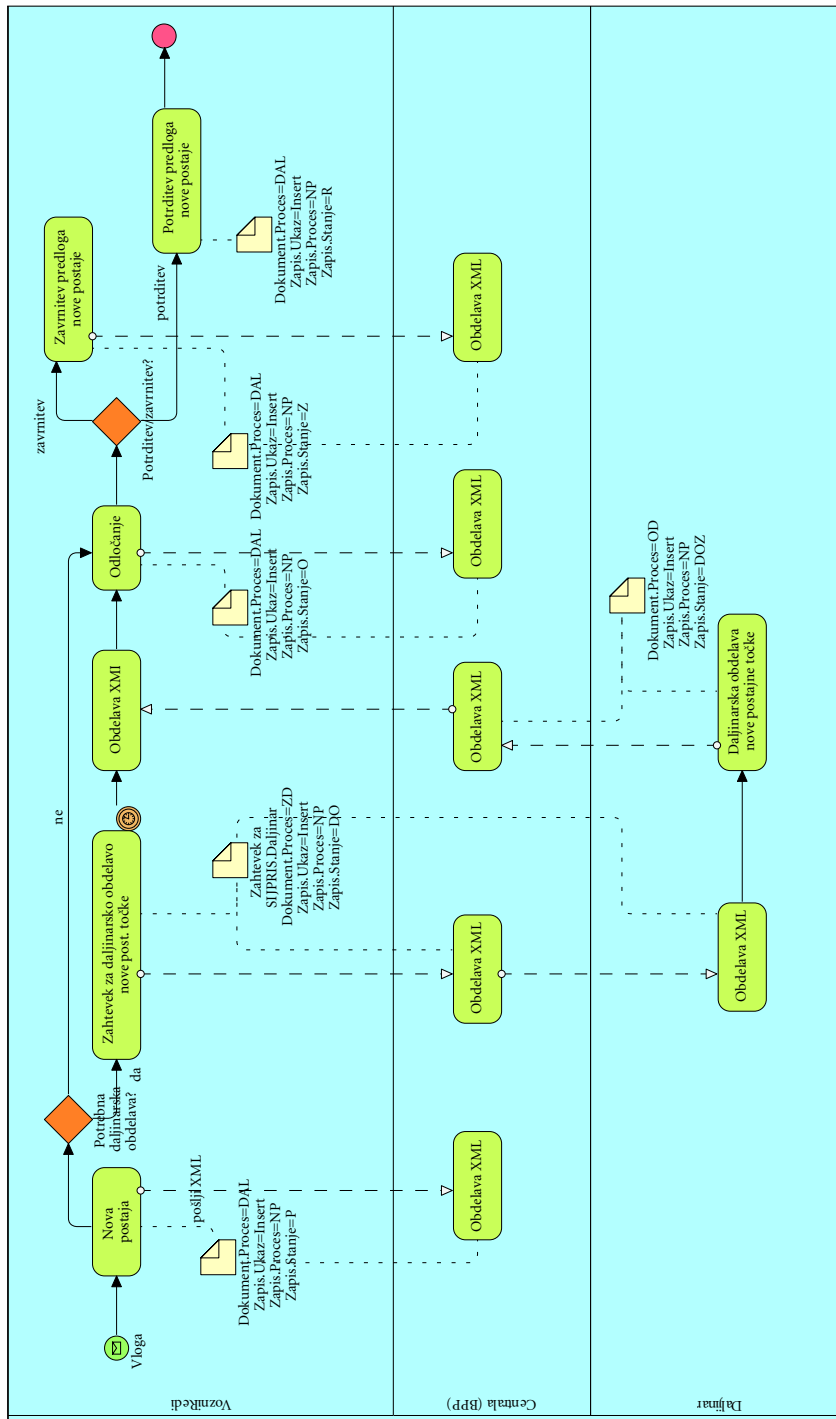
Za modeliranje procesov je bilo uporabljeno orodje *Business Process Visual Architect* (Medmrežje 2). Kot primer je na sliki 4 prikazan procesni diagram (slika 4) za predlog nove postaje v daljinarju.

## 6 Informacijski sistem SIJPRIS

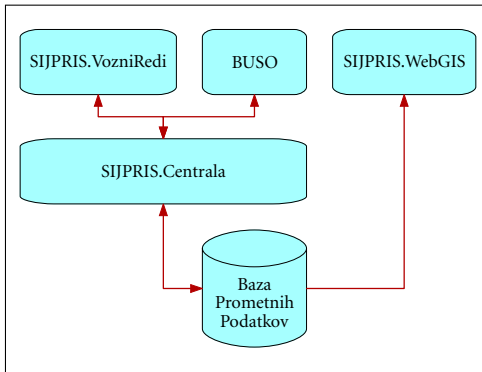
Na podlagi izdelanega modela ponudbe in povpraševanja ter načrta procesov je bil izdelan informacijski sistem SIJPRIS, ki ga uvrščamo med t. i. informacijske sisteme za javni potniški promet. Večino tovrstnih informacijskih sistemov v svetu povezujemo z iskanjem potovalnih informacij. Te informacije so kombinacija različnih vrst prevoza, različnih podjetij in različnih geografskih področij (Molin in Timmermans 2006) in so namenjene izboljšanju dostopnosti javnega potniškega prometa. SIJPRIS pa je v prvi vrsti namenjen izvajalcem JPP-ja za pripravo in posredovanje ponudbe različnih ponudnikov avtobusnega prevoza potnikov za različna geografska območja Slovenije in upravitelju za podporo pri odločanju o tej ponudbi. V SIJPRIS-u zbrani podatki so vhod za integrirani iskalnik potovalnih informacij.

Informacijski sistem SIJPRIS (slika 5, medmrežje 1) je trinivojska programska arhitektura, ki vsebuje naslednje medsebojno povezane podsisteme:

- Baza prometnih podatkov (BPP; *Oracle* in *ESRI ArcSDE*) je strežniška podatkovna zbirka za javni potniški promet, ki jo uporabljajo SIJPRIS.VozniRedi, SIJPRIS.WebGIS, BUSO in SIJPRIS.Centrala.
- SIJPRIS.VozniRedi je program (namizna aplikacija, Java) za podporo upravljanja z daljinarjem, vozno rednim sistemom in ekonomskim modelom. SIJPRIS.VozniRedi uporablja lokalno kopijo baze prometnih podatkov (*Apache Derby*), ki se sinhronizira z BPP.
- SIJPRIS.WebGIS je program (spletni GIS, *Geoserver*) za grafični pregled podatkov.
- BUSO je program (*ArcGIS* z lokalno bazo *MS SQL*) za vzdrževanje daljinarja (rezultat projekta, ki ga je za DRSC izvajala Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani).
- SIJPRIS.Centrala je aplikacijski strežnik (*Oracle WebLogic*) s servisi (spletna storitev, Java EE) za podporo izmenjave podatkov (v zapisu XML) med posameznimi informacijskimi podsistemi.



Slika 4: Proces vnosa nove postaje v notaciji BPMN.



Slika 5: Podsystemi SIJPRIS.

## 6.1 Baza prometnih podatkov (BPP)

BPP odlikujejo naslednje značilnosti:

- koncept nosilnih tabel: Postaje (vključuje postajne točke), Linijski odseki (vključuje linijske odseke in linijske segmente), Režimi (vključuje koledarje), Linije (vključuje itinerarje, variante itinerarjev, linijske odseke itinerarjev, vožnje, izvajalce voženj in postajne točke voženj);
- koncept krepkih relacij: prek krepkih povezav se povezujejo objekti iz preglednic, ki pripadajo istim nosilnim objektom. Na tak način zagotovimo enolično povezavo med kopijami zapisov v različnih preglednicah, ki nastajajo ob različnih fazah procesa sprememb, ki so podrejene nosilnim tabelam;
- koncept šibkih relacij: prek šibkih povezav se povezujejo objekti iz preglednic, ki so iz različnih drevov (vsebinsko-hierarhično povezane tabele) in pripadajo nosilnim objektom;
- podpora procesom JPP: shema podatkovne baze omogoča spremljanje posameznega zapisa v vseh stanjih (predlog, odločanje, registracija, zavrnitev, ukinitve) vsebinsko definiranih procesov za nosilne tabele;
- koncept podpore spremljanja zgodovine objektov: shema podatkovne baze omogoča ohranitev in pregled zgodovinskih vrednosti objektov na poljuben datum (časovni preseki), za nosilne tabele (Snodgrass 1999);
- vsebuje prostorske podatke za uporabo v geografskem informacijskem sistemu.  
Shema BPP sestavlja okrog 80 relacijskih tabel.

## 6.2 SIJPRIS.VozniRedi

SIJPRIS.VozniRedi (slika 6) je ključnega pomena za delovanje SIJPRIS-a, saj koncesionarjem omogoča vnos podatkov v celoten sistem, upravitelju pa nadzor procesov in podporo za izvajanje analiz.

Osnovna funkcionalnost SIJPRIS.VozniRedi je naslednja:

- daljinar:
  - pregled, urejanje in prikaz zgodovine postaj, postajnih točk in linijskih odsekov skladno z definiranimi procesi,
  - pošiljanje zahtevka za daljinarsko obdelavo,
  - preverba vpliva postaje na linijske odseke, preverba vpliva linijskega odseka na linije.
- ponudba:
  - pregled, urejanje in prikaz zgodovine linije, itinerarjev, voženj in voznorednih režimov skladno z definiranimi procesi,
  - urejanje variant itinerarjev in zaporedja linijskih odsekov, ki sestavljajo itinerar,
  - dodeljevanje izvajalcev in koledarjev voznorednih režimov posamezni vožnji,



Slika 6: Seznam ponudbe (linij) v programu SIJPRIS.VozniRedi.

- uporabniki:
  - upravljanje z uporabniki (podjetja, osebe, uporabniki).
- koncesije:
  - pregled in urejanje koncesij in aneksov ter priprava koncesijskih poročil,
- komunikacija:
  - sprejem in pošiljanje podatkov v SIJPRIS.Centralo in iz nje,
- orodja:
  - iskanje linij skozi postaje in postajne točke,
  - izračun dolžine opravljenih prevozov na liniji z upoštevanjem režima voženj,
  - verifikacija konsistentnosti daljinarskih in voznorednih podatkov,
  - izvoz in uvoz podatkov za daljinar in ponudbo v zapisu XML (shema TransportXML.org).

### 6.3 SIJPRIS.WebGIS

Vizualna informacija v procesu upravljanja JPP-ja prinaša dodano vrednost za upravitelja pri sprejemanju odločitev.

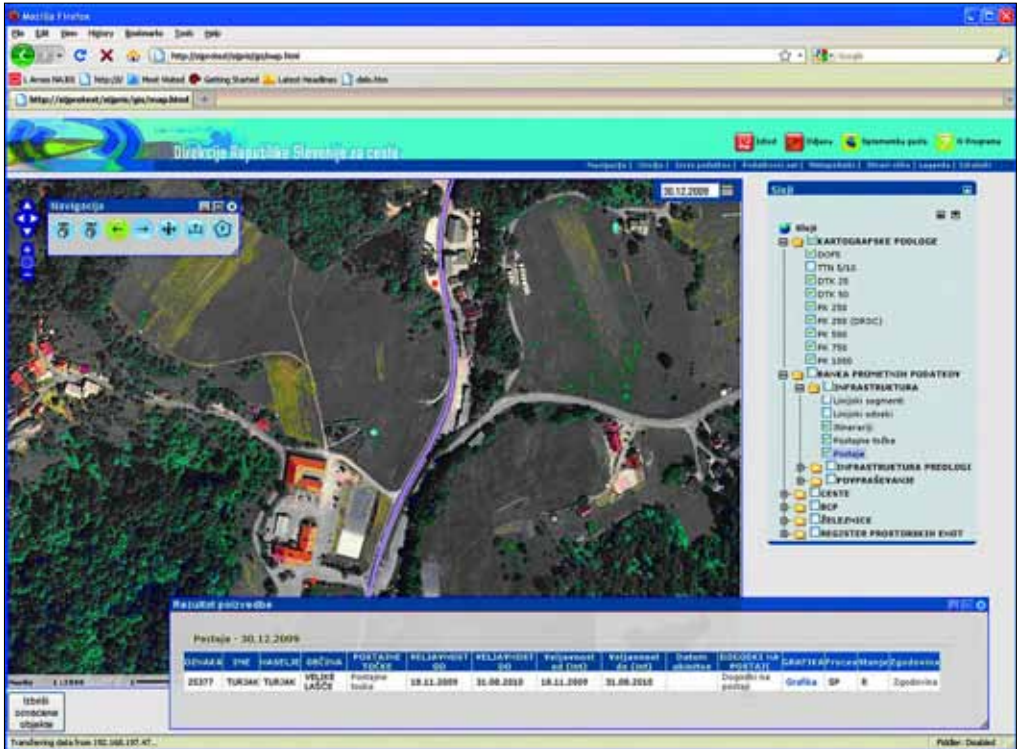
SIJPRIS.WebGIS je spletni geografski informacijski sistem, ki je namenjen upravitelju JPP-ja za podporo pri sprejemanju odločitev o predlogih sprememb daljinarja in ponudbe. Sistem vključuje tudi podatke povpraševanja po JPP-ju, ki služijo za analizo oblikovanja ponudbe in standardov dostopnosti. Sistem uporablja podatkovno bazo BPP.

Tovrstne sisteme v literaturi uvrščamo med participativne GIS-e (Dunn, 2007). Participativni GIS-i preraščajo okvirje klasične definicije GIS-a, aplikacije za ustvarjanje, shranjevanje, manipulacijo, vizualizacijo in analizo geografskih informacij (Goodchild, 2000) in omogočajo vsebinsko povezovanje akterjev. SIJPRIS.WebGIS omogoča natanko to – sodelovanje upravitelja, koncesionarja, prevoznika in zainteresirane javnosti na področju JPP-ja.

Jedro sistema predstavljajo sloji s podatki o prometni infrastrukturi (postaje, postajne točke, linijski odseki in segmenti) ter podatki o ponudbi (itinerarji). Primer umestitve postaje z dvema postajnama točkama v prostor prikazuje slika 7.

Podatki ponudbe (linije, voznje, režimi) so dostopni prek prostorskih entitet in atributnega iskalnika. Vsebinske poizvedbe uporabniku olajšajo pregled stanja na posamezni lokaciji:

- prihodi in odhodi na postaji ali postajni točki,
- voznje med dvema postajama ali postajnama točkama.



Slika 7: Prikaz podatkov o postajnih točkah na postaji Turjak.

Sistem vsebuje vrsto klasičnih funkcij GIS:

- meritve dolžin in površin,
- prikaz merila in izpis trenutnih koordinat,
- izvozi izbranih podatkov v obliko SHP,
- orodje za tiskanje grafičnih in atributnih podatkov,
- navigacijsko okno,
- dostop do legende in metapodatkov.

V sistem so vključeni tudi prostorski sloji, ki uporabniku zagotavljajo orientacijo v prostoru in dodatne prostorske informacije:

- kartografske podloge (topografske in pregledne karte, ortofoto),
- podatki o cestah (državne, občinske), železnici (osi, železniške postaje) in podatki iz Banke cestnih podatkov (BCP), vezani na ceste (objekti),
- podatki registra prostorskih enot (občine, naselja, hišne številke).

## 7 Sklep

SIJPRIS je informacijska rešitev, ki temelji na centralni podatkovni bazi prometnih podatkov in spletnih servisih za izmenjavo podatkov, vsebuje orodja za vzdrževanje infrastrukturnih, vozno rednih in koncesijskih podatkov ter GIS sistem za prikazovanje podatkov ponudbe in povpraševanja. S tem je vzpostavljeno informacijsko okolje, ki bo v bodoče omogočalo podporo upravljanju medkrajevnih avto-

busnih prevozov. Načrtovana integracija javnega potniškega prometa (Gabrovec in Lep 2007) predvideva tudi njegovo enotno upravljanje. Zato je SIJPRIS zasnovan tako, da bo vanj v prihodnosti možno vključiti tudi druge oblike javnega potniškega prometa, sprva mestni avtobusni potniški promet, kasneje pa tudi železniški, žičniški in vodni. Za povečanje uporabe javnega potniškega prometa pa ne zadostuje le učinkovitejše upravljanje le-tega. Potrebno je tudi boljše informiranje potnikov. Zato je smiselno, da prihodnji upravitelj javnega potniškega prometa v Sloveniji SIJPRIS uporabi kot vir za informacijski portal javnega potniškega prometa z vključenim iskalnikom poti od vrat do vrat.

## 8 Viri in literatura

- Dunn E. C. 2007: Participatory GIS – a people's GIS. *Progress in Human Geography* 31-5.
- Estupinan, N., Gomez-Lobo, A., Munoz-Raskin, R., Serebrisky, T. 2008: Affordability and subsidies in public urban transport: what do we mean, what can be done? Research Working papers. World Bank.
- Gabrovec, M., Bole, D. 2006: Dostopnost do avtobusnih postajališč. *Geografski vestnik* 78-2. Ljubljana.
- Gabrovec, M., Kotar, M., Bole, D. 2006: Izdelava standardov dostopnosti do javnega potniškega prometa in splošnih prevoznih pogojev za avtobusne prevoznike. Elaborat. Agencija za promet. Ljubljana.
- Gabrovec, M., Lep, M. 2007: Trajnostna mobilnost in regionalni razvoj. Veliki razvojni projekti in skladni regionalni razvoj. Ljubljana.
- Goodchild, M. F. 2000: The current status of GIS and spatial analysis. *Journal of Geographical Systems* 2.
- Jesty, P. H., Bossom, R. A. P. 2000: European ITS Framework Architecture Models of Intelligent Transport Systems. KAREN – Keystone Architecture Required for European Networks.
- Lep, M., Tibaut, A. 1999: AVRIS, uporabniški priročnik. Elaborat. Fakulteta za gradbeništvo. Maribor.
- Lep, M., Tibaut, A., Pirš, A., Gabrovec, M., Podobnikar, T. 2004: Avtobusni geografski informacijski sistem. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2003–2004*. Ljubljana.
- Medmrežje 1: <http://www.sijpro.si> (4. 3. 2010).
- Medmrežje 2: <http://www.visual-paradigm.com> (4. 3. 2010).
- Ministrstvo za notranje zadeve, 2009: Centralni register prebivalstva. Ljubljana.
- Molin, J. E. M., Timmermans J. P. H. 2006: Traveler expectations and willingness-to-pay for Web-enabled public transport information services. *Transportation Research, Part C* 14.
- Sampaio, B. R., Neto, O. L., Sampaio, Y. 2008: Efficiency analysis of public transport systems: Lessons for institutional planning, *Transportation Research, Part A: Policy and Practice* 42.
- SIST EN 12896:2006. Cestna transportna in prometna telematika – Javni prevoz, Referenčni podatkovni model. Slovenski inštitut za standardizacijo. Ljubljana.
- Snodgrass, R. T. 1999: *Developing Time-Oriented Database Applications in SQL*. San Francisco.
- Statistični urad Republike Slovenije, 2008: SI-STAT podatkovni portal. Medmrežje: <http://www.stat.si/pxweb/Dialog/statfile2.asp> (8. 12. 2008).
- Statistični urad Republike Slovenije, 2009a: Statistični register delovnega aktivnega prebivalstva. Ljubljana.
- Statistični urad Republike Slovenije, 2009b: Študenti in dijaki v študijskem letu 2007/08 po občini stalnega prebivališča in občini šole. Ljubljana.
- Tibaut, A., Mrkela, A., Čelan, M., Perunović, R., Rebolj, D., Fajfar, D., Ilijevski, B., Vogrinc, S., Ravnik, D., Podobnik, V., Habič, M., Gabrovec, M., Bole, D., Blaž, J., Zalar, D., Habjanič, S., Bele, J., Sterle, Z. 2009: SIJPRO – Priprava strokovnih podlag za izvajanje gospodarske javne službe javnega potniškega prometa v Sloveniji, končno poročilo. Elaborat. Fakulteta za gradbeništvo. Maribor.
- Uredba o načinu izvajanja gospodarske javne službe javni linijski prevoz potnikov v notranjem cestnem prometu in o koncesiji te javne službe. Uradni list RS 73/2009. Ljubljana.
- Zakon o prevozi v cestnem prometu. Uradni list RS 131/2006. Ljubljana.





## VLOGA MREŽNIH ANALIZ PRI VZPOSTAVITVI TARIFNEGA CONSKEGA SISTEMA ZA JAVNI POTNIŠKI PROMET

mag. Jerneja Fridl, dr. Matej Gabrovec, Nika Razpotnik Visković

Geografski inštitut Antona Melika, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti  
jerneja@zrc-sazu.si, matej@zrc-sazu.si, nika.razpotnik@zrc-sazu.si

UDK: 911.3:656.03(497.4)

### IZVLEČEK

#### **Vloga mrežnih analiz pri vzpostavitvi tarifnega conskega sistema za javni potniški promet**

V Sloveniji načrtujemo nov način obračunavanja cen vozovnic javnega potniškega prometa. Sedanji relacijski tarifni model naj bi zamenjal conski, ki je za uporabnike cenovno privlačnejši in enostavnejši, saj lahko potnik s kupljeno vozovnico na izbrani relaciji poljubno izbira javno prevozno sredstvo. Zasnova tarifnega conskega sistema je najprej zahtevala pripravo modela con javnega potniškega prometa, šele nato določitev tarif glede na število prevoženih con pri izbranem potovanju. Zastavljen projekt ne bi bil izvedljiv brez uporabe GIS-a, saj smo cone omejili s pomočjo prostorskih analiz prekrivanja območij naselij, šolskih okolišev in občin ter izračunov razdalj ali površin. Tarife so bile določene na podlagi iskanja cenovno optimalne poti s pomočjo mrežnih analiz.

### KLJUČNE BESEDE

javni potniški promet, tarifna cona, geografski informacijski sistem, mrežna analiza

### ABSTRACT

#### **The role of network analyses in establishing the zone-fare system for public passenger transport**

Planned is a new system for the calculation of ticket prices in the public passenger transport in Slovenia. The existing route-fare model should be substituted by the zone-fare model, which is more friendly to users as to prices and also simpler, because passengers can select optionally the means of public transport with a purchased ticket on the desired route. To scheme the basis for the zone-fare system, it was first necessary to make a model of public passenger transport zones and only afterwards fares were specified as to the number of crossed zones on the selected route. Without the use of the GIS the planned project would not have been feasible, since the zones were delineated by means of spatial analyses of the overlapping areas of settlements, school environments and municipalities and by means of the calculation of distances or areas. The specification of fares was based on the search for the optimum price route by means of the network analyses.

### KEY WORDS

public passenger transport, tariff zone, geographic information system, network analysis

## 1 Uvod

Tarifna integracija v javnem potniškem prometu je eden izmed ukrepov Vlade Republike Slovenije v okviru razvojnega projekta Trajnostna mobilnost (Resolucija o nacionalnih ... 2006). Z vzpostavitvijo enotne tarife oziroma enotne vozovnice bodo zagotovljene razmere za bolj trajnostno naravnano mobilnost prebivalcev Slovenije. Enotna vozovnica bo potniku omogočila poljubno izbiro ponudnikov javnega potniškega prometa na posamezni relaciji, ne glede na itinerar. Potnik bo v času veljavnosti vozovnice lahko prestopal med različnimi vrstami javnega potniškega prometa (Gabrovec in Lep 2007, 113–114). Sedanji relacijski tarifni sistem ne omogoča uvedbe enotne vozovnice, zato je treba preiti na nov conski sistem. Razdelitev Slovenije na tarifne cone smo pripravili v okviru projektne naloge »Izdelava conskega sistema v Republiki Sloveniji« (Gabrovec s sodelavci 2008). Po uvedbi conskega sistema bo potnik za potovanje znotraj cone plačal enotno osnovno ceno, za daljša potovanja pa bo cena vozovnice odvisna od števila prepotovanih con ne glede na prevoženo razdaljo.

Oblikovanje tarifnih con je poleg upoštevanja prometnih, socioekonomskih in demografskih razmer zahtevalo tudi uporabo analitičnih orodij, v našem primeru programskega paketa ArcGIS 9.2, ter ustreznih geolociranih vhodnih podatkov o avtobusnih in železniških postajališčih ter mejah naselij, občin in šolskih okolišev. S temi podatkovnimi sloji smo glede na zastavljena temeljna načela določali meje tarifnih con javnega potniškega prometa.

## 2 Predstavitev temeljnih načel coniranja

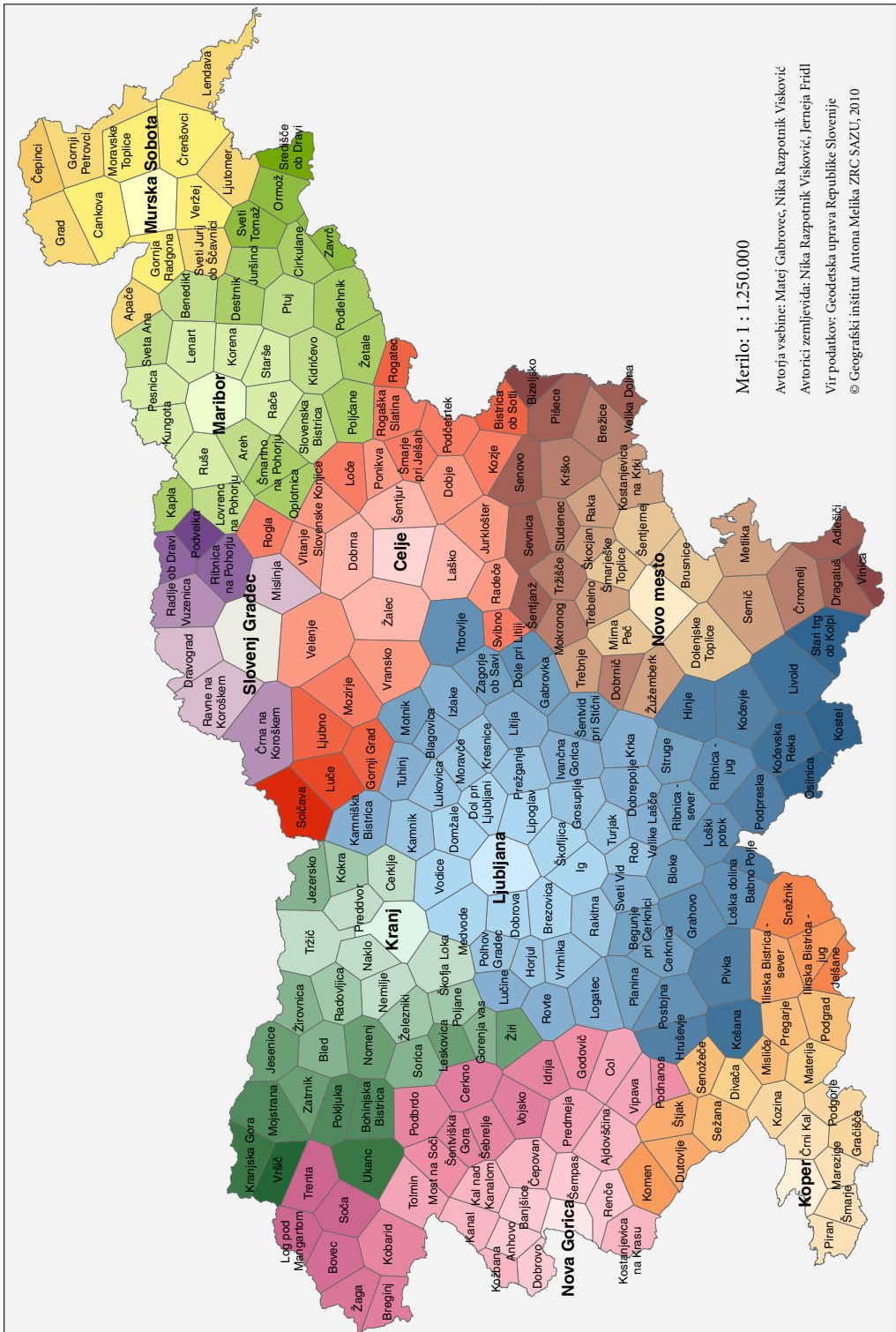
Pri določitvi izhodiščnih načel coniranja smo se oprli na nekatere tuje primere določitve tarifnih con in pogoje, ki jih je postavil naročnik projekta. Tako smo oblikovali naslednja podrobnejša pravila za razmejevanje con (Gabrovec s sodelavci 2008, 3–6):

- Premer con je približno 10 km, površina idealne cone (šesterokotne oblike) je 65 km<sup>2</sup>. Bistvena odstopanja navzgor so lahko le v primeru večjih mest, kjer je celotno območje mesta oziroma mestnega prometa v eni coni. Večje površine imajo tudi cone v redko poseljenih ali neposeljenih območjih.
- Meje con naj bi se v čim večji meri ujemale z občinskimi mejami. Če so vsa postajališča v občini od občinskega središča oddaljena 5 km ali manj, je celotna občina v eni coni. Če je občinsko ozemlje bistveno manjše od 65 km<sup>2</sup>, smo dve ali več občin združili v eno cono.
- Pri površinsko velikih občinah (na primer Kamnik, Ilirska Bistrica, Bohinj, Slovenska Bistrica) smo občino razdelili na več con. Pri tem smo upoštevali naslednja pravila:
  - postajališča, ki so od občinskega središča oddaljena 5 km ali manj, so morala biti v isti coni kot občinsko središče;
  - vsi prevozi šoloobveznih otrok naj bi praviloma potekali znotraj ene cone;
  - meje con znotraj občine so bile postavljene v občinsko središče oziroma drugo središče nižje stopnje ali na mejo med šolskimi okoliši (na ta način je padlo osrednje postajališče v obe coni in bodo potniki iz poljubnega naselja v občini za pot v občinsko središče plačali vozovnico le za eno cono).

*Slika 1: Shematski prikaz tarifnih con javnega potniškega prometa s pomočjo Thiessenovih poligonov (Gabrovec s sodelavci 2008). ►*

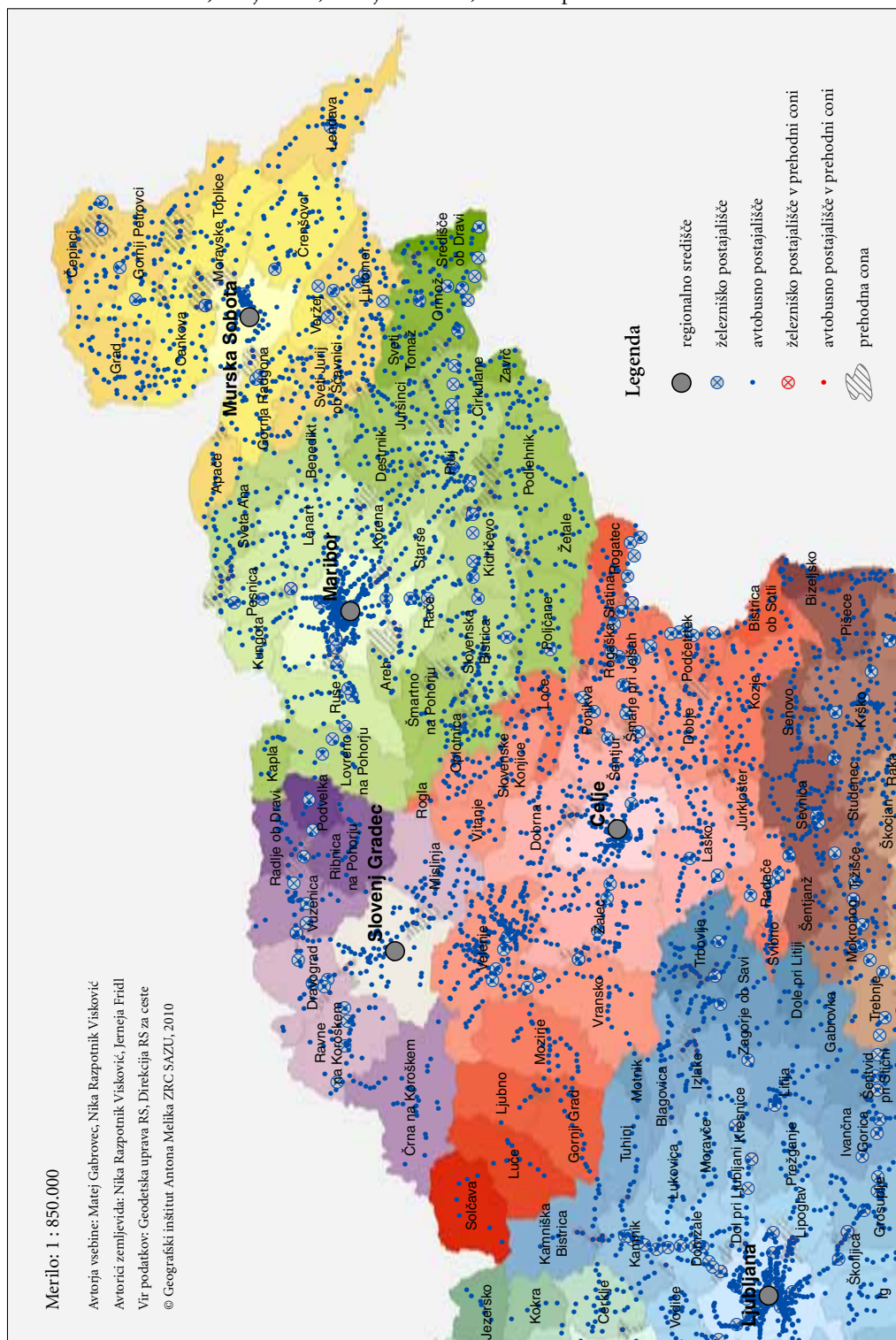
*Slika 2: Primer določitve tarifnih con za slovenjegraško, mariborsko in murskosoboško območje (Gabrovec s sodelavci 2008). ► (str. 276)*

# Vloga mrežnih analiz pri vzpostavitvi tarifnega conskega sistema za javni potniški promet



Merilo: 1 : 1.250.000

Avtorja vsebine: Matej Gabrovce, Nika Razpotnik Visković  
Avtorici zemljevida: Nika Razpotnik Visković, Jernaja Fridl  
Vir podatkov: Geodetska uprava Republike Slovenije  
© Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU, 2010



### 3 Razmejitev tarifnih con

Ob upoštevanju navedenih temeljnih načel smo posebno pozornost namenili detajlnejši razmejitvi tarifnih con, saj bo potnik, ki prečka mejo cone, plačal vozovnico za dve coni, ob tem pa bo lahko prepotoval le kilometrsko razdaljo. Zato se mu bo glede na sedanjo relacijsko ceno prevoz na isti liniji močno podražil. Takim primerom se ni dalo povsem izogniti, želeli pa smo jih skrčiti na minimum, zato smo meje med conami poskušali zarisati na širšem neposeljenem pasu. Glede na slovensko razpršeno poselitev to vselej ni bilo mogoče. Večinoma smo podobne probleme reševali tako, da smo eno ali več naselij blizu conske meje uvrstili v dve coni in oblikovali tako imenovane prehodne cone. Postajališča v prehodnih conah »pripadajo« dvema, sosednjima conama, zato se bo pri izračunavanju cene vozovnice upoštevala tista cona, ki bo za potnika cenovno ugodnejša. Prehodnih con ni smelo biti preveč, ker bi se v tem primeru izgubila prednost conskega tarifnega sistema pred relacijskim in preglednost sistema. Zato smo prehodne cone predvideli le tam, kjer smo ocenili, da bi se v nasprotnem primeru ob uvedbi conskega tarifnega sistema podražile vozovnice večjemu številu dnevnih vozačev.

Prehodne cone smo tako predvideli, če:

- je na meji dveh con večji generator potovanj (na primer industrijska cona Trzin, letališče Jožeta Pučnika);
- je na meji dveh con večje naselje, iz katerega dnevni vozači potujejo v dve ali več smeri;
- meja cone poteka čez občinsko središče ali preseka naselje z osnovno šolo.

Za območje celotne države smo lahko pripravili le shematski kartografski prikaz conskega sistema glede na gravitacijska zaledja večjih regionalnih središč. Temelj za prikaz poligonov so bili centri natančno začrtanih tarifnih con, na podlagi katerih smo s funkcijo, ki išče, h katerim točkam gravitira kateri del območja (Jones 1997, 48), naredili Thiessenove poligone.

Za podrobnejšo predstavitev conskega sistema smo ozemlje Slovenije razdelili na devet gravitacijskih območij. Območne karte so natančnejše, na njih so prikazane dejanske meje con, ki se ujemajo z mejami naselij. Barvni odtenki con so z oddaljenostjo od gravitacijskega središča posameznega območja temnejši. Prehodne cone so zaradi boljše preglednosti označene z nevsiljivo pikčasto šrafuro. Nasprotno pa so izraziteje označena postajališča, ki se nahajajo znotraj prehodnih con. Vsaka tarifna cona je tudi poimenovana.

### 4 Določitev cen vozovnic s pomočjo mrežne analize

V splošnem imamo pri oblikovanju cene vozovnice dve možnosti. Cena vozovnice je lahko odvisna od dejanske prevoženega števila con ali od najcenejše poti po omrežju javnega potniškega prometa. V prvem primeru mora potnik, ki med potovanjem nima povezave z javnim potniškim prometom po najkrajši poti, za uporabljeno daljšo prevozno pot plačati tudi višjo ceno. Tak način obračunavanja stroškov potovanja je uveljavljen na avstrijskem Štajerskem (medmrežje 1). Pri nas smo predlagali drugo od obeh možnosti. V zahodnoevropskih regijah z uveljavljeno tarifno integracijo je hrbtnica javnega potniškega prometa tirni promet, v Sloveniji pa ima pomembnejšo vlogo avtobusni promet. Na številnih relacijah z dolžinami nekaj 10 km se v približno enakem obsegu vzporedno izvajata avtobusni in železniški potniški promet. Pogosto pa trase cest in železnic ne potekajo skozi iste cone. Tako bi bile z uvedbo conskega sistema na nekaterih relacijah (npr. Ljubljana–Logatec ali Ljubljana–Celje) železniške vozovnice zaradi poti čez več con dražje od avtobusnih in bi tarifna integracija izgubila svoj smisel. Zato smo predlagali, da je cena prevoza med dvema conama vedno enaka, ne glede na izbiro poti ali vrsto javnega prevoznega sredstva.

Nalogo iskanja cenovno idealnih poti med vsemi vstopnimi in izstopnimi postajališči smo lahko učinkovito izvedli le z uporabo mrežne analize. Na splošno so mrežne analize namenjene predvsem obdelavi linijskih objektov, kar velja tudi za omrežje avtobusnih ali železniških povezav. Tovrstne analize se ukvarjajo predvsem s prometnimi problemi, linijskimi komunalnimi mrežami, distribucijo virov po omrežju, iskanjem optimalne poti, propustnostjo, porazdelitvijo točkovnih virov in ovir itd. (Šumrada 2005, 168).

Prav iskanje optimalne poti v smislu najnižje cene vozovnice za potovanje od vstopnega do izstopnega avtobusnega ali železniškega postajališča je bil v našem primeru glavni cilj opravljenih mrežnih analiz.

Vektorski mrežni model v našem primeru sestavljajo segmenti, to so linearne povezave med sosednjimi postajališči na izbrani relaciji, ter vozlišča, ki imajo vlogo postajališč. Vozlišče je vedno začetna ali končna točka linijskega segmenta. Posamezni segmenti imajo lahko določeno tudi upornost, ki določa potovanje ali pretok po segmentu (Šumrada, 181). V našem primeru pomeni upornost dodatni strošek ob prestopu cone.

Za prostorsko analizo smo pripravili naslednje podatkovne sloje:

- tarifne cone (poligoni),
- avtobusna in železniška postajališča (točke),
- ovire (točke),
- linijske odseke med postajališči (linije).

#### 4.1 Podatkovni sloj tarifnih con

Cone, ki so bile določene kot poligoni, smo morali pred analizo spremeniti v linije, da smo lahko s funkcijo izbiranja po lokaciji (*select by location*) poiskali vse cestne ali železniške odseke, ki so prečkali cono. Izbranim linijskim odsekom smo pripisali vrednost 1, vsi ostali odseki pa so obdržali vrednost 0. Ta atributni stolpec smo kasneje, v fazi izvajanja mrežne analize, uporabili za izračun potnikovega stroška, v našem primeru cene vozovnice.

#### 4.2 Podatkovni sloj avtobusnih in železniških postajališč

Bazo postajališč medkrajevnega avtobusnega prometa smo dobili od Ministrstva za promet, vzdržuje jo Direkcija Republike Slovenije za ceste. Baza je sestavni del Avtobusnega vozno rednega informacijskega sistema (AVRIS). V bazo so vključena vsa postajališča, kjer se v skladu z veljavnim registrom voznih redov ustavljajo avtobusi medkrajevnega potniškega prometa. Pri približno desetih postajališčih smo med delom odkrili napačne koordinate, ki smo jih v naši bazi popravili.

Za postajališča mestnega potniškega prometa v Sloveniji nimamo enotne baze. Podatke o postajališčih in voznih redih smo pridobili deloma pri prevoznikih, deloma pri občinskih upravah. Koordinate postajališč so bile na voljo le za ljubljanski, mariborski in koprski mestni promet, vse ostale lokacije smo morali pridobiti sami.

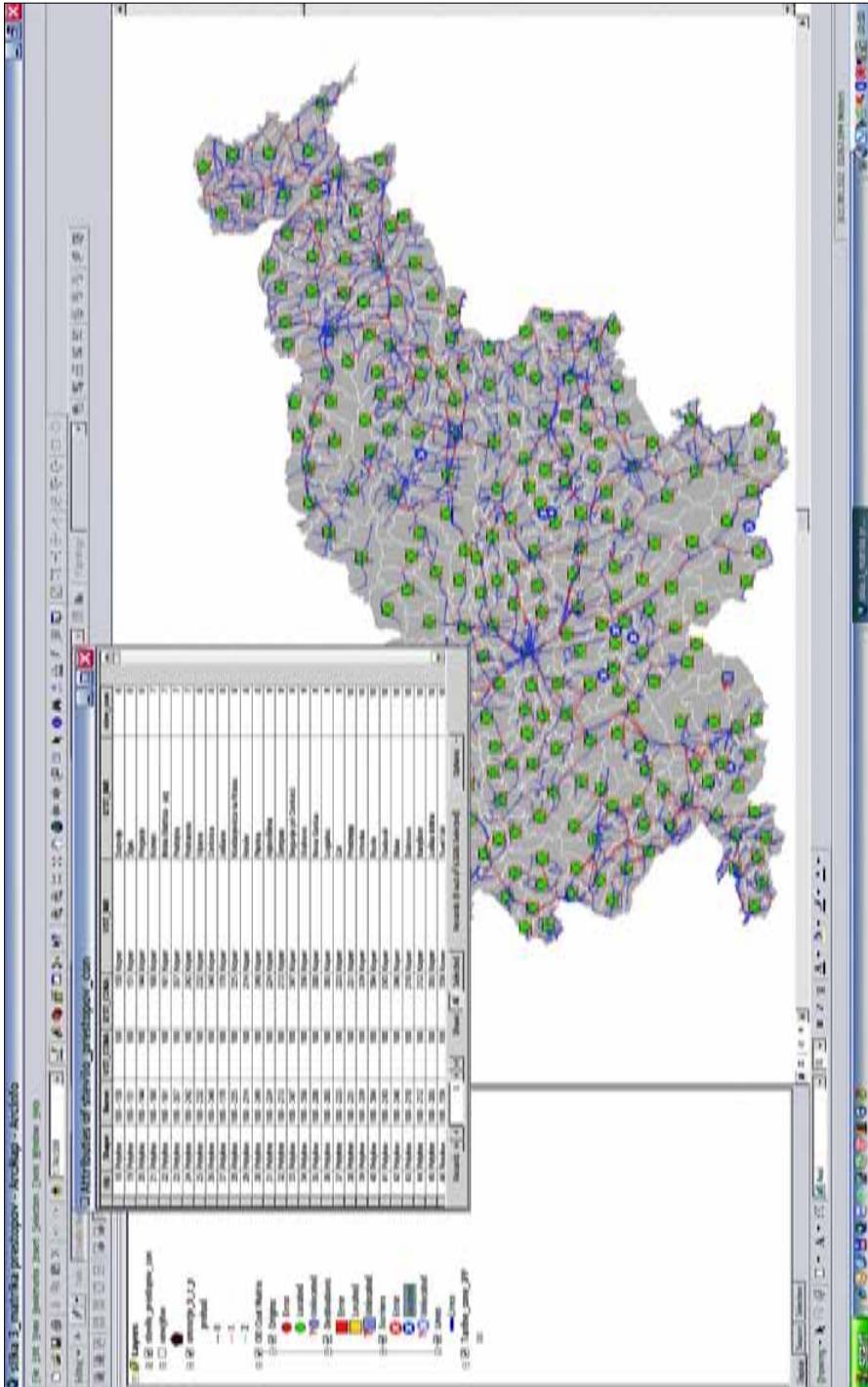
Pri železniških postajališčih smo se oprli na seznam, ki so ga pripravile Slovenske železnice. Žal se je ob kontroli podatkov pokazalo, da je njihova natančnost neustrezna, odstopanja pri posameznih postajališčih od dejanskega stanja so bila tudi do 500 m. Zato smo se odločili, da koordinate postajališč zabeležimo in preverimo na terenu ali s pomočjo kartografskih virov (Hočevar s sodelavci 2008).

#### 4.3 Podatkovni sloj ovir

Na linijske odseke, ki so sicer zabeleženi v daljinarju, vendar pa leta 2007 na njih ni delovala nobena linija javnega potniškega prometa, smo postavili ovire in s tem preprečili vključitev teh linij v prostorsko analizo. Brez določitve ovir bi lahko program poiskal optimalno pot ravno na teh relacijah. Tako bi na primer brez ovir optimalna pot iz Ljubljane do Begunj pri Cerknici vodila prek Rakinje, kjer pa avtobusna linija že nekaj let ne obratuje več. S preprečitvijo uporabe te poti je bila cena vozovnice med Ljubljano in Begunjami pri Cerknici izračunana po trasi preko Logatca in Cerknice, kjer dejansko poteka javni potniški promet.

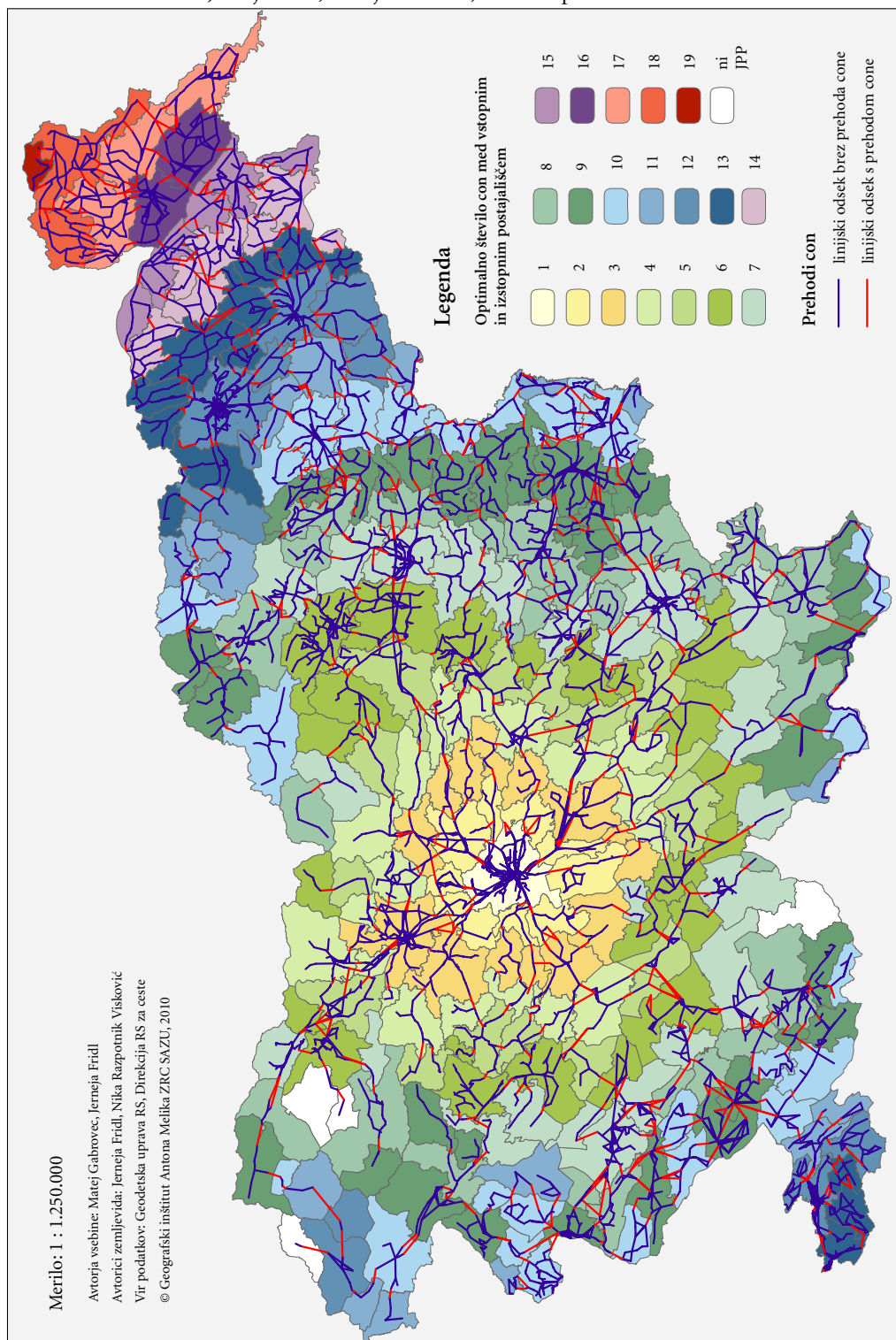
*Slika 4: Primer določitve cen vozovnic za vstopno postajališče Ljubljana (Hočevar, Gabrovec, Anzeljc 2008).*

► (str. 280)



Slika 3: Podatkovni sloji v ArcGIS-u in rezultat operacije »make OD cost matrix layer« v tabelarični obliki.





#### 4.4 Podatkovni sloj linijskih odsekov

Razmišljali smo, ali za naše potrebe uporabiti sedanje cestno omrežje ali »shematsko« omrežje, pri katerem so linijski odseki v bistvu segmenti med sosednjimi avtobusnimi ali železniškimi postajališči. Odločili smo se za slednje, saj so bile natančne razdalje za nas manj pomembne, ker so nas zanimala predvsem presečišča linijskih odsekov z mejami tarifnih con. Uporaba natančnejšega omrežja bi bistveno upočasnila izračune, rezultati pa bi bili zelo podobni. Hkrati v podatkovni bazi AVRIS ni bilo podatkov, po katerih cestnih odsekih vozijo avtobusi.

Z izračunom zračnih razdalj smo programsko dodali tudi linijske odseke med avtobusnimi in železniškimi postajališči, ki so med seboj oddaljena manj kot 300 m, kar pomeni približno 10 minut zmerne hoje. S tem smo upoštevali morebitne prestopne potnikov iz avtobusa na vlak ali obratno. Ročno smo dodali še nekatere daljše odseke v smeri prestopov, za katere smo vedeli, da se v praksi bolj množično uporabljajo (npr. v Ljubljani med železniško postajo in Bavarskim dvorom).

#### 4.5 Izvedba mrežne analize

Pripravljene podatkovne sloje smo v ArcCatalogu pretvorili v mrežne podatkovne nize (*network datasets*), ki so temelj za mrežno analizo. Najpomembneje je bilo, da smo v tem koraku pri linijskih odsekih kot stroškovni atribut (*attribute COST*) definirali polje, v katerem so bile navedene vrednosti 1 (kadar odsek seka cono) in vrednosti 0 (kadar je ne seka).

Določanje optimalne poti med vstopnimi in izstopnimi conami pri nas ni temeljilo na iskanju najkrajše razdalje, temveč na iskanju cenovno najugodnejše poti potovanja, torej poti z najmanjšim številom prehodov con. Uporabili smo operacijo *make OD cost matrix layer*, ki jo v sklopu dodatnega programa *Network Analyst* ponuja program ArcGIS, proizvajalca ESRI. Rezultat omenjene operacije je v splošnem matrika stroškov med izvorom (*origin*) in ciljem (*destination*) potovanja ob upoštevanju navigacijskih posebnosti (Arc View Network Analyst 1996, 51). V našem primeru je bila končni rezultat matrika števila prehodov iz ene cone v drugo. Njena velikost je torej 252 krat 252 polj. Matrika je posredno uporabna za izračunavanje dejanske vrednosti vozovnice med vstopnim in izstopnim postajališčem, saj imamo za vsako postajališče določeno, v katero tarifno cono sodi.

Izračun bi lahko izvajali za vseh 7075 postajališč in dobili matriko 7075 krat 7075. Ker pa je po definiciji cena znotraj ene cone ista za vsa postajališča v tej coni, je bilo dovolj, da smo naredili izračun le za eno postajališče v vsaki coni. Za analizo smo zato praviloma izbrali tisto postajališče, ki je bilo najbližje centroidu cone.

Zaradi morebitnih napak, na primer, ko linijski odsek preseka mejo iste cone večkrat, smo naredili tudi logične kontrole. Do omenjenih napak je prihajalo predvsem zato, ker je bilo linijsko omrežje shematsko, ne pa dejansko, vendar je bilo takšnih primerov malo.

## 5 Sklep

Temeljitejša analiza stanja v Sloveniji na področju javnega potniškega prometa ter nekateri primeri ureditve obračunavanja storitev prevozov, predvsem v sosednji Avstriji, so pripomogli k oblikovanju temeljnih načel coniranja. Rezultat upoštevanja prometnih, socioekonomskih in demografskih razmer ter številnih prostorskih analiz je razdelitev Slovenije na 252 tarifnih con z okvirnim premerom 10 km in približno površino 65 km<sup>2</sup>. Po določitvi območij tarifnih con smo postavili pravila določanja tarifne lestvice. V nasprotju s primeri v nekaterih drugih evropskih državah za izračun cene nismo uporabili števila dejansko prevoženih con, ampak število con po optimalni poti glede na omrežje javnega potniškega prometa. To pomeni, da potnik plača vozovnico, kot da bi prestopil minimalno število con med vstopnim in izstopnim postajališčem. Pri tem lahko potnik v okviru časovnih omejitev, ki jih predvi-

deva tarifni model, potuje po katerikoli prevozni poti. Edini pogoj je, da ne prestopa oziroma prekine potovanja v coni, ki bi bila od začetne cone bolj oddaljena kot končni cilj potovanja. Če potnik prestopi v taki coni, se pri izračunu cene upošteva število con do te prestopne cone. Tarifna lestvica obračunavanja vozovnic javnega potniškega prometa je izražena z matriko 252 krat 252 polj. Izdelava take matrike je bila mogoča le z uporabo geografskega informacijskega sistema.

## 6 Viri in literatura

- ArcView Network Analyst: Optimum Routing, Closest Facility and Service Area Analysis. 1996. Environmental Systems Research Institute. New York.
- Gabrovec, M. s sodelavci 2008: Izdelava conskega sistema v Republiki Sloveniji. Elaborat. Agencija za promet, razvoj in raziskave, d. o. o. Ljubljana.
- Gabrovec, M., Lep, M. 2007: Trajnostna mobilnost in regionalni razvoj. Veliki razvojni projekti in skladni regionalni razvoj. Regionalni razvoj 1. Ljubljana.
- Hočevar, M., Gabrovec, M., Anzeljc, V. 2008: Izdelava tarifnega sistema javnega potniškega prometa v Republiki Sloveniji. Elaborat. Agencija za promet. Ljubljana.
- Jones, C. B. 1997: Geographical Information Systems and Computer Cartography. Essex.
- Medmrežje 1: <http://verbundlinie.at/tarif/struktur.php> (15. 2. 2010).
- Resolucija o nacionalnih razvojnih projektih 2007–2013. 2006. Vlada Republike Slovenije. Ljubljana.
- Šumrada, R. 2005: Strukture podatkov in prostorske analize. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana.

## PREOBLIKOVANJE PROSTORSKIH PODATKOV NA LINIJSKE ODSEKE ZA POTREBE DINAMIČNEGA CESTNINJENJA

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

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

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

UDK: 656.11.053.1

### IZVLEČEK

#### **Preoblikovanje prostorskih podatkov na linijske odseke za potrebe dinamičnega cestninjenja**

Prostorsko in časovno spremenljivo (dinamično) cestninjenje pri izračunu višine cestnine na posameznem dolžinskem odseku upošteva različne parametre, ki jih vključujejo notranji in zunanji stroški prometa. Veliko težavo pri izračunu višine dinamično spremenljive cestnine po dolžinskih odsekih glede na vpliv posameznega parametra na okolico predstavlja ugotavljanje povratne zveze med vplivom, ki ga ima ta parameter na okolico, in posameznimi dolžinskimi odseki. V prispevku je na podlagi študije vpliva motečih ravni zvo-ka (hrupa) na ljudi osnovana in preizkušena metoda pretvorbe ugotovljene prostorske razmestitve vpliva hrupa na linijo. Metoda omogoča tudi razvrščanje dolžinskih odsekov v različne razrede vpliva glede na čas ter s tem pomeni prispevek k lažjemu izračunavanju prostorsko in časovno spremenljive cestnine.

### KLJUČNE BESEDE

*cestninjenje, hrup cestnega prometa, prostorski podatki, prostorska transformacija*

### ABSTRACT

#### **Transformation of spatial data to a line segment for road pricing purposes**

Spatially and temporally differentiated (dynamic) road pricing considers several parameters of internal and external costs when calculating the height of the road toll. Finding the link between the impact of a certain parameter on the environment and individual road sections presents a challenge for calculation of the dynamic road toll for individual road sections. The article presents methodology to transform ascertained spatial distribution of noise impacts on the environment to road segments, based on the study of noise impacts on humans. The method also permits classification of road segments into impact classes according to time, and thus enables spatially and temporally differentiated toll.

### KEY WORDS

*road pricing, road transportation noise, spatial data, spatial transformation*

## 1 Uvod

Vplivi prometa na okolje so raznoliki in večplastni (Lah 2002), kot pomemben regulator stopnje njihovega učinkovanja pa se v zadnjem času vedno bolj uveljavlja cestninjenje (Ricci in Rainer 1999; Santos s sodelavci 2000). Poznamo statični in dinamični sistem izračunavanja cestnine, ki lahko pri izračunu višine cestnine temeljita na pristopu notranjih ali zunanjih stroškov. Ekonomisti so dokazali, da družbeni optimum lahko dosežemo le z dinamičnim modelom cestninjenja, ki upošteva tudi okoljske stroške prevoza (Verhoef 1998; Krajnc 2005). Poudarjajo, da je uvedba takšnega modela v praksi zelo težavna, vendar hkrati opozarjajo, da je to še vnaprej temeljni primerjalni model, h kateremu je potrebno težiti z ukrepi, ki jih sprejemamo v praksi. Obstajajo različni modeli kombiniranja parametrov cestninjenja (Kulauzović s sodelavci 2005; Kokot s sodelavci 2008), vendar je dinamično cestninjenje v praksi zaenkrat zaživelno le kot instrument časovnega uravnavanja gostote prometnega toka.

Prostorsko in časovno spremenljivo (dinamično) cestninjenje pri izračunu višine cestnine na posameznem dolžinskem odseku upošteva različne parametre, na primer gradnjo, vzdrževanje, obnavljanje in upravljanje cestne infrastrukture, prometne nesreče, škode zaradi prometnih zastojev in okoljske škode, kot so onesnaževanje zraka, čezmeren hrup, poškodbe pokrajine ter socialni stroški. Veliko težavo pri izračunu višine dinamično spremenljive cestnine po odsekih glede na vpliv posameznega parametra na okolico predstavlja ugotavljanje povratne zveze med prostorsko razporeditvijo vpliva, ki ga ima ta parameter na okolico, in posameznimi odseki. Izziv je metodološki, zato je v nadaljevanju predstavljena metoda, ki temelji na vzorčnem primeru, to je parametru hrup oziroma ravni jakosti zvoka. Na osnovi študije vpliva motečih ravni zvoka (hrupa) na ljudi je osnovana in preizkušena metoda pretvorbe ugotovljene prostorske razmestitve vpliva hrupa na linijo (cesto). V naslednjem poglavju so zato pojasnjene osnove vpliva hrupa na ljudi ter opredeljeni kriteriji za rangiranje vplivov. Sledi pojasnitev nekaterih možnosti preoblikovanja tako dobljenih podatkov na linijo in na primeru analizirana spremenljivost uteži za izračunavanje cestnine. V sklepu so navedene usmeritve za nadaljnje raziskave.

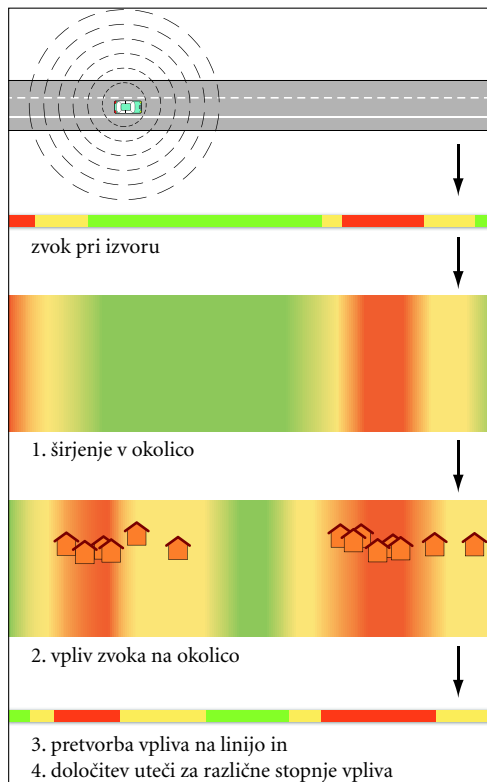
## 2 Kartiranje vpliva hrupa

Za določevanje cestnine je treba (največkrat) zvezne ploskovne prostorske podatke o razširjenosti (imisijah) onesnaževalcev v okolju (zvočne ravni, koncentracije plinskih in prašnih onesnaževal in podobno) preoblikovati v prostorske kazalnike vplivov prometa na okolje in te projicirati (preoblikovati) nazaj na linijo – cesto, ki je vir onesnaževanja. Gre za štiristopenjski proces, ki ga prikazuje slika 1.

Problem onesnaževanja s hrupom je v zadnjem desetletju predmet intenzivnega raziskovanja, saj postaja vedno bolj pereč. Hrup je vsak zvok, ki v naravnem in življenjskem okolju vzbuja nemir, moti človeka in škoduje njegovemu zdravju ali počutju ali škodljivo vpliva na okolje. Je izrazito mikrolokacijsko pogojena spremenljivka, ki je zaradi subjektivnega doživljanja ne moremo meriti, merimo lahko le ravni zvoka (Berglund in Lindvall 1995).

Veliko dela je bilo vložena v izdelavo modelov za ugotavljanje in napovedovanje hrupa cestnega prometa (glej na primer dokumentacijo evropskih projektov Harmonoise in Imagine (medmrežje 1)). Modeliranje je neizogibno, saj ravni zvoka v prihodnosti ne moremo meriti, in tudi zato, ker je merjenje ravni zvoka na terenu težavno zaradi števila merilnih mest, ki so potrebna, da dobimo celosten vpogled na zvočno stanje. Terenske meritve tudi niso najbolj gospodarna možnost (de Kluijver in Stoter 2003). Karte, ki prikazujejo ravni zvoka v okolju, imenujemo karte hrupa. Kot dopolnilo kartiranju ravni zvoka se uveljavlja tudi kartiranje njihovega vpliva (Klčboe s sodelavci 2006), ki podaja pričakovano prizadetost ljudi na določeni lokaciji.

V najbolj osnovni obliki lahko kartiranje vpliva hrupa dosežemo s kombiniranjem razmerja med izpostavljenostjo in odzivom ter kazalnikov izpostavljenosti ravnem zvoka. Za ocenjevan vpliv lahko izračunamo na primer deleže kategorij ljudi, ki jih hrup zelo moti, moti in ne moti ali pa kazalnik pov-



Slika 1: Proces pridobitve razredov vpliva posameznih cestnih odsekov.

prečnega nemira. Za natančno ugotavljanje vpliva hrupa na določenem območju je zato treba izvesti obsežno anketiranje, kar pa je zahtevno, zlasti če gre za ocenjevanje vpliva na ravni večjih območij (na primer države). Ravni zvoka so se zato uveljavile kot osnovno merilo ocenjevanja potencialnih težav povezanih z emisijami zvoka prometa, tako v Sloveniji kot drugod po svetu. V Uredbi o mejnih vrednostih kazalnikov hrupa v okolju (UL RS 105/2005, 11030) so opredeljene t. i. mejne in kritične vrednosti kazalnikov hrupa v okolju ( $L_{DVN}$  – standardni kazalnik hrupa za celodnevno motnjo in  $L_{noč}$  – standardni kazalnik nočne ravni glasnosti zvoka) za posamezne stopnje varstva pred hrupom.

Ugotavljanje občutljivosti populacije na ravni zvoka in kartiranje območij stopenj varstva pred hrupom ne sodita v okvir te raziskave, zato so bile kot kriterij vpliva uporabljene mejne in kritične vrednosti za tretjo stopnjo varstva pred hrupom ter poseljenost. Upoštewane so bile naseljene stavbe in število prebivalcev ter dejanske ravni jakosti zvoka na najbolj izpostavljeni fasadi.

### 3 Preoblikovanje podatkov na odsek

Področje preoblikovanja zveznih prostorskih podatkov na odsek (linijo) je še razmeroma neraziskano in za področje cestninjenja v literaturi po našem vedenju še ni bilo izpostavljeno. Zato je v nadaljevanju podan okvir, ki lahko služi kot osnova za aplikacijo in nadaljnje raziskave.

V arheoloških raziskavah sta bila za ta namen uporabljena pristopa segmentacije in kartografske transformacije, prirejena za modeliranje pojavov, ki jih želimo pripisati liniji (Mordant s sodelavci 2006). Pri tem linijo poenostavimo, razdelimo na odseke ter ji z geometričnimi metodami pripišemo vred-

nosti prostorskih spremenljivk. Za transformacije vrednosti lahko uporabimo enostavne metode, na primer evklidsko razdaljo, lahko pa kombiniramo več metod z upoštevanjem dejavnikov okolja (izoblikovanost reliefa, rabo tal in podobno) in smeri vpliva.

Delitev cestninske ceste na odseke izvedemo z diskretizacijo. Nato nosilce informacije transformiramo na linijo, v našem primeru cesto. Linijo lahko nato razdelimo z razvrščanjem v razrede vpliva, soroden pristop je predhodna delitev linije na dolžinske odseke in naknadno ugotavljanje vpliva ter razvrščanje v razrede.

Vpliv na okolje (na primer za določeno naseljeno stavbo, površinsko celico, sprejemnik) je mogoče pripisati le enemu dolžinskemu odseku ceste ali pa ga obteženo razdeliti na sosednje odseke. To je ustrežnejše pri kombiniranju vplivov za različne kategorije (na primer prebivalstvo, zdravstvene ustanove, rekreacijske površine), kot tudi pri krajših dolžinskih odsekih, na primer na koncu cestninskih odsekov (ob uvozih na oziroma izvozih s cestninske ceste). Prvi primer je razmeroma enostaven, saj ga lahko poenostavimo na ugotavljanje najmanjše evklidske razdalje med cestnimi odseki in na primer stavbami. Vpliv (število prebivalcev, ki imajo presežene mejne in/ali kritične vrednosti) v celoti pripisemo odseku, ki je stavbi najbližji. Pri razporejanju vpliva med več odseki izpostavljamo tri metode:

- linearno,
- obratno vrednost kvadrata razdalje in
- modificirano obratno vrednost kvadrata razdalje.

Vse temeljijo na ugotavljanju razdalje (vplivno območje odseka), pri kateri jakost zvoka ob danih zvočnih emisijah pade na določeno raven (na primer mejno ali kritično). Zanima nas na primer razdalja, pri kateri raven zvoka pade na nočno mejno raven za območja tretje stopnje varstva pred hrupom, če veljajo pogoji širjenja zvoka brez geometričnih ovir in upadanja jakosti zaradi vpliva tal, pri emisijah, ki veljajo na določenem kilometrskem odseku, ob delavnikih, ponoči. Upadanje ravni zvoka linijskega vira z razdaljo se poenostavljeno izračuna z enačbo:

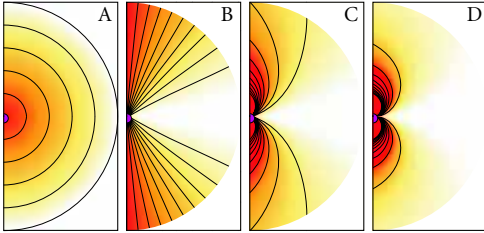
$$L_d = L_{W, linija} - 10 \cdot \log(4/\pi \cdot d),$$

kjer je  $L_d$  raven zvoka na oddaljenosti  $d$  in  $L_{W, linija}$  raven zvoka linijskega vira (medmrežje 2). Razdaljo torej izračunamo kot:

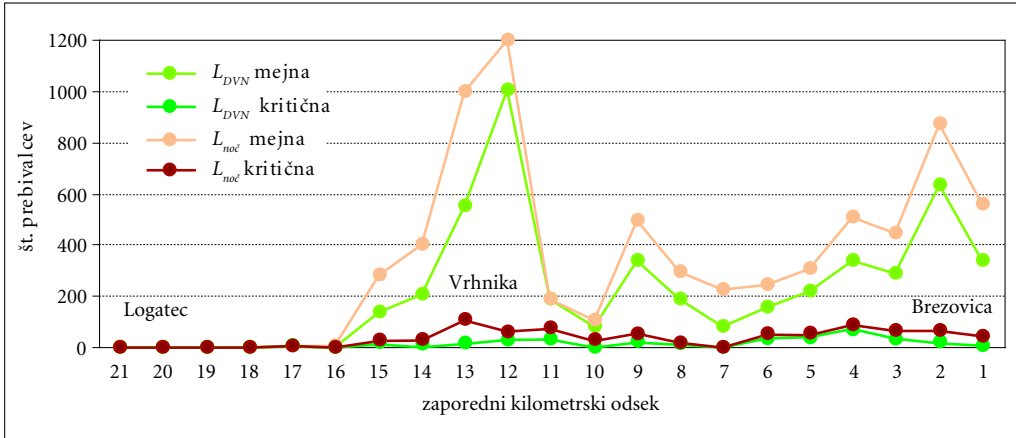
$$d = 10^{\frac{L_{W, linija} - L_d}{10}} / 4 \cdot \pi.$$

Razdalje izračunamo za posamezne odseke in nato glede na izračunano razdaljo ugotavljamo pripadnost objektov, na primer naseljenih stavb, sprejemnikov (točk vzorčenja), tem odsekom. Zatem lahko obtežimo vpliv na primer linearno: če je določena stavba v vplivnem območju dveh odsekov, lahko vsakemu pripisemo delež števila prebivalcev stavbe obteženo glede na razmerje med obratnima oddaljenostma stavbe do odsekov. Ker jakost zvoka z razdaljo ne upada linearno, lahko upoštevamo tudi razmerje med obratnima vrednostma kvadrata razdalje. Naprednejši način, uporaben zlasti pri preoblikovanju zveznih, na primer rastrskih podatkov, upošteva še kot med pravokotnico na cestni odsek v vodoravni smeri in sprejemnikom ( $\alpha_o$ ). Uteži za odseke za posamezen sprejemnik izračunamo kot zmnožek obratne vrednosti razdalje (ali kvadrata razdalje) ter vrednostjo, ki jo določa kot, recimo  $1 - \sin \alpha_o$  (slika 2).

Vpliv posameznega kilometrskega odseka na okolico smo ugotavljali na primorski avtocesti, in sicer na odseku med Brezovico in Logatcem. Prešteli smo naseljene stavbe in število prebivalcev, ki posameznemu odseku »pripadajo«<sup>1</sup> glede na najbližjo oddaljenost in so v pasu ravni zvoka s preseženimi mejnimi in kritičnimi vrednostmi za tretjo stopnjo varstva pred hrupom. Z vidika varstva pred hrupom in vpliva posameznega odseka na okolico se postavlja vprašanje kako vrednotiti količinski rezultat (slika 3). Opaziti je, da je preseženim mejnim in kritičnim vrednostim jakosti zvoka na posameznih cestnih odsekih izpostavljenih tudi več sto ljudi, gre namreč za eno najbolj obremenjenih cest v državi.



Slika 2: Linearno pojemanje vpliva dolžinskega cestnega odseka z oddaljenostjo od krajne točke odseka, ki jo ponazarja vijolična pika (odsek, katerega vpliv proučujemo, poteka naravnost, levo od te točke) (A) ter pojemanje vpliva glede na kot med pravokotnico na cestišče in točko v prostoru ( $1 - \sin \alpha_0$ ) (B). Kombinacija pojemanja vpliva določenega odseka, kot funkcija razdalje in sinusa kota (C), ter kvadrata razdalje in sinusa kota (D).



Slika 3: Število prebivalcev, ki so izpostavljeni mejnim in kritičnim ravnem zvoka po kilometrskih odsekih za avtocestni odsek med Brezovico in Logatec.

Vplivi posameznih kilometrskih odsekov se spreminjajo od najmanjšega (»ničnega«) do največjega (odvisno od družbenih in naravnih lastnosti regije, čez katero odsek poteka). Uteži za izračunavanje cestnine niso opredeljene zvezno, temveč po razredih vplivov. Predpostavljajmo tri razrede vpliva:

- 1. razred: ničen vpliv (mejne ravni zvoka za predpisana območja varstva pred hrupom niso presežene),
- 2. razred: majhen vpliv (presežene so mejne ravni zvoka) in
- 3. razred: velik vpliv (presežene so kritične ravni zvoka).

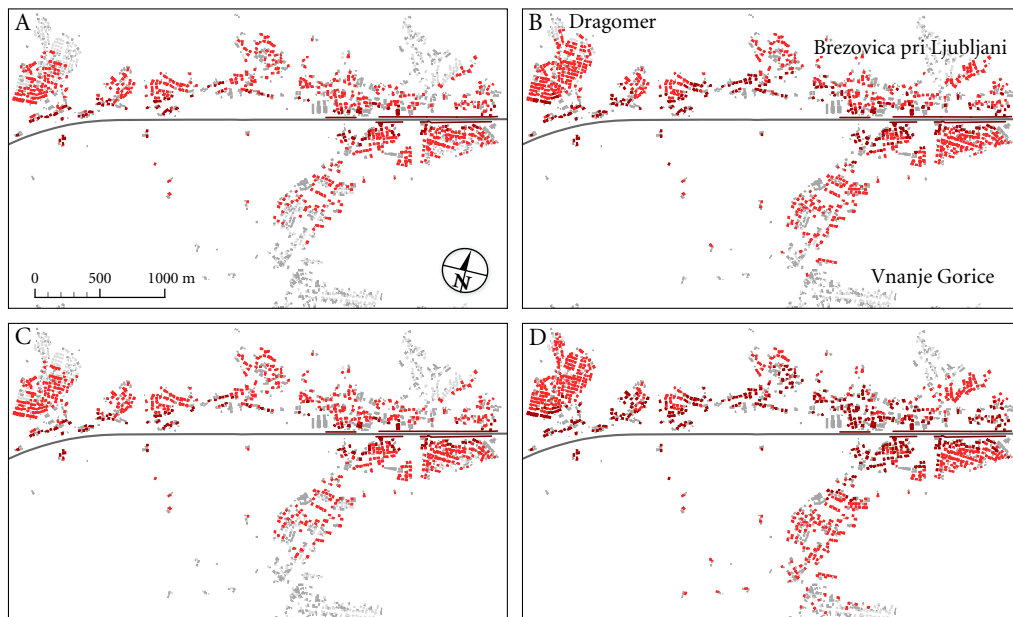
Mejo med razredi lahko določimo na primer na podlagi najvišje ravni varovanja pred škodljivimi učinki, to je, če ima preseženo mejno ali kritično raven že ena stanovanjska stavba ali en prebivalec. Lahko pa »tolerančni prag« dvignemo in določimo, da mora imeti mejne in kritične vrednosti presežene večja skupina ljudi ter da določen odsek sodi v tretji razred vpliva tudi, če je preseženo večje število ljudi, ki so izpostavljeni prekoračeni mejni ravni zvoka.

Razporeditev dolžinskih odsekov v razrede je odvisna od prostora in časa. Posamezen odsek je zato v različnih obdobjih dneva in leta lahko v različnih razredih vpliva, kar ima posledično učinek na različno višino cestnine za ta odsek. Slika 4 prikazuje spreminjanje števila naseljenih stavb, ki so izpostavljene prekoračenim mejnim in kritičnim ravnem zvoka ob upoštevanju različnih časovnih obdobj.

## 4 Primer s strateško karto hrupa

Skladno z direktivo o hrupu (Direktiva 2002/49/ES) je Slovenija leta 2008 izdelala strateške karte hrupa. Strateške karte hrupa dajejo osnovni pregled obstoječe obremenitve okolja s hrupom oziroma





Slika 4: Naseljene stavbe s preseženimi mejnimi (oranžno) in kritičnimi vrednostmi (temno rdeče), glede na celoletni standardni kazalnik hrupa za celodnevno motnjo ( $L_{DVN}$ ) (A), celoletni standardni kazalnik nočne ravni glasnosti zvoka ( $L_{noc}$ ) (B), nočno raven zvoka v dela prostih dneh januarja (C) in julija (D), med Dragomerom in Brezovico pri Ljubljani. Nenaseljene stavbe so označene temno sivo, stavbe, na katerih mejne ravni niso presežene, pa svetlo sivo. Za način izračuna zvočnih ravni glej Kokalj (2010, 149–153).

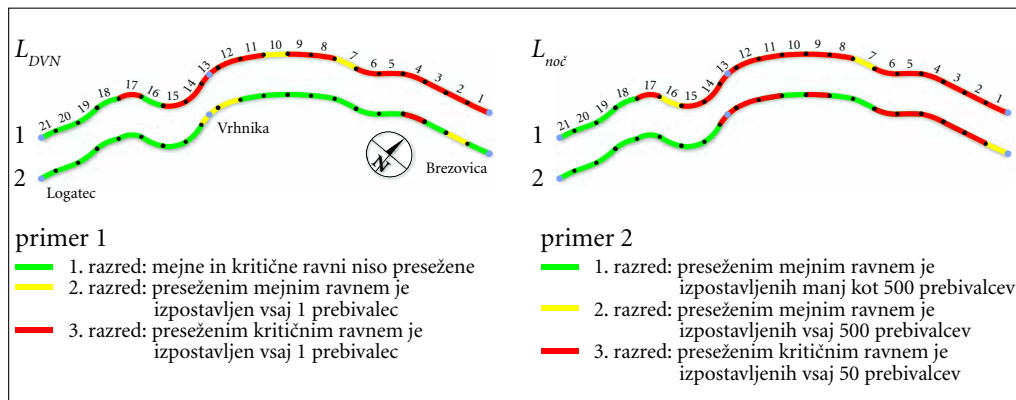
oceno izpostavljenosti hrupu na posameznem območju zaradi različnih virov hrupa. Na osnovi emisij posameznih virov hrupa lahko posledično ocenimo tudi celotno obremenitev okolja s hrupom za določeno območje. Strateško kartiranje hrupa se uporablja za zbiranje informacij za Evropsko komisijo in občane ter kot izhodišče za akcijske načrte varstva pred hrupom, vendar vsaka od teh uporab zahteva drugačen tip karte.

Število naseljenih stavb, ki imajo na fasadi presežene mejne ravni zvoka, smo ocenjevali iz interpoliranih izofon. Stavbi smo pripisali vrednost izofone z najvišjo vrednostjo, ki se je dotika. Iz grafikona (slika 3) je razvidno, da je ob nekaterih kilometrskih odsekih (pri Vrhniki) preseženim mejnim ravnem izpostavljenih tudi več kot 1000 prebivalcev. Slika 5 prikazuje razvrstitev kilometrskih odsekov avtoceste med priključkoma Brezovica in Logatec v razrede vpliva na okolico glede na celodnevne in nočne ravni zvoka ob upoštevanju največjega varstva pred hrupom (primer 1) in z »dvignjenim tolerančnim pragom« (primer 2).

Cestnino za cestninske odseke (na primer Brezovica–Vrhnika, Vrhnika–Logatec) z vidika določene-ga parametra (na primer hrupa) izračunamo s seštetjem izračunanih cestnin za ustrezne dolžinske odseke.

## 5 Sklep

V prispevku smo opisali pretvorbo prostorskih podatkov na linijo (odsek). Obravnavana metoda omogoča spremljanje števila ljudi (stavb splošnega družbenega pomena, območij za rekreacijo in podobno),



Slika 5: Primera razvrstitve dolžinskih odsekov cestninske ceste med Brezovico in Logatcem v razrede vpliva na okolico in posledično vpliva na višino cestnine z vidika parametra hrup. Modre točke označujejo priključke na avtocesto.

izpostavljenih določenemu dejavniku vpliva prometa za vsak dolžinski (na primer kilometrski) odsek določene cestninske ceste.

Metoda omogoča razvrščanje dolžinskih odsekov v različne razrede vpliva glede na čas ter s tem prostorsko in časovno spremenljivo cestnino. Meje med razredi lahko določimo na podlagi najvišje ravni varovanja pred škodljivimi učinki ali pa »tolerančni prag« dvignemo.

Opisani postopki predstavljajo enega od (metodoloških) elementov dinamičnega cestninjenja, potrebne pa bodo številne nadaljnje študije, ki bodo določile razrede vlivov, meje njimi ter višino cestnine glede na posamezne kategorije.

## 6 Viri in literatura

- Berglund, B., Lindvall, T. (ur.) 1995: Community Noise. Archives of the Center for Sensory Research 2-1.
- de Kluijver, H., Stoter, J. 2003: Noise mapping and GIS: optimising quality and efficiency of noise effect studies. Computers, Environment and Urban Systems 27-1.
- Direktiva 2002/49/ES Evropskega parlamenta in sveta z dne 25. junija 2002 o ocenjevanju in upravljanju okoljskega hrupa. UL EU št. L 189/12.
- Klčboe, R., Engelen, E., Steinnes, M. 2006: Context sensitive noise impact mapping. Applied Acoustics 67-7.
- Kokalj, Ž. 2010: Uporaba daljinskega zaznavanja pri modeliranju spremenljivk dinamičnega cestninjenja. Doktorsko delo. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana.
- Kokot, D., Kokalj, Ž., Kolšek, V., Brozovič, R. 2008: Dynamic toll collection system. TRA, Transport Research Arena Europe 2008. Greener, safer and smarter road transport for Europe, Proceedings. Ljubljana.
- Krajnc, J. 2005: Dinamični model izračunavanja cestnine. Magistrsko delo. Ekonomska fakulteta. Ljubljana.
- Kulauzović, B. s sodelavci 2005: Priprava izhodišč za izdelavo metodologije dinamičnega cestninjenja z upoštevanjem vidikov trajnostnega razvoja. Ljubljana.
- Lah, A. (ur.) 2002: Promet in okolje. Ljubljana.
- Medmrežje 1: <http://www.imagine-project.org> (3. 3. 2010).
- Medmrežje 2: [http://www.engineeringtoolbox.com/outdoor-propagation-sound-d\\_64.html](http://www.engineeringtoolbox.com/outdoor-propagation-sound-d_64.html) (3. 3. 2010).

- Mordant, C., Saligny, L., Poulet-Crovisier, N. 2006: La circulation des objets métalliques à l'âge du Bronze entre Rhône et Saône: utilisation d'une transformation cartographique linéaire. Mappemonde 83-3.
- Ricci, A., Rainer, F. 1999: Final report of the expert advisors to the High level group on infrastructure charging (Working group 2).
- Santos, G., Rojey, L., Newbery, D. 2000: The environmental benefits from road pricing. Cambridge. Medmrežje: [www.econ.cam.ac.uk/dae/repec/cam/pdf/wp0020.pdf](http://www.econ.cam.ac.uk/dae/repec/cam/pdf/wp0020.pdf) (20. 2. 2010).
- Uredba o mejnih vrednostih kazalnikov hrupa v okolju z dne 23. novembra 2005. UL RS št. 105/2005.
- Verhoef, E. T. 1998: The implementation of marginal external cost pricing in road transport. Amsterdam. Medmrežje: [www.tinbergen.nl/discussionpapers/98091.pdf](http://www.tinbergen.nl/discussionpapers/98091.pdf) (20. 2. 2010).

# TRIKOTNIŠKO ZASNOVANA TRANSFORMACIJA MED STARIM IN NOVIM DRŽAVNIM KOORDINATNIM SISTEMOM SLOVENIJE

**Sandi Berk**

Geodetski inštitut Slovenije  
sandi.berk@gis.si

**Žarko Komadina**

Geodetska uprava Republike Slovenije  
zarko.komadina@gov.si

UDK: 528.23(497.4)

## IZVLEČEK

### **Trikotniško zasnovana transformacija med starim in novim državnim koordinatnim sistemom Slovenije**

Predstavljena je trikotniško zasnovana odsekoma afina transformacija med starim in novim slovenskim državnim koordinatnim sistemom. Osnova za transformacijo je niz okoli 2000 dejansko izmerjenih točk. Njihove koordinate so bile neposredno določene v obeh koordinatnih sistemih. Uporabljene so virtualne vezne točke, ki tvorijo na ozemlju države pravilno trikotniško mrežo. Močna argumenta za izbor predlaganega modela sta poleg dosežene natančnosti predvsem zveznost in povratnost transformacije. Zato je namenjen transformaciji vseh prostorskih podatkovnih zbirk, ki zvezno pokrivajo celotno državo in kjer je zahtevana natančnost transformacije boljša od enega metra.

## KLJUČNE BESEDE

D48/GK, D96/TM, ETRS89, trikotniška transformacija, virtualna vezna točka

## ABSTRACT

### **Triangle-based transformation between the old and new national coordinate systems of Slovenia**

Triangle-based piecewise affine transformation between the old and new national coordinate systems of Slovenia is presented. The basis for transformation is a set of about 2000 actually measured points. Their coordinates were determined directly in both coordinate systems. Virtual tie points are used, which form a regular triangular network covering the whole country territory. Powerful arguments for selecting the proposed model are beside the achieved accuracy particularly continuity and reversibility of transformation. Therefore, it is designed for transformation of all spatial databases, that continuously cover the whole country and require the transformation accuracy of better than one metre.

## KEY WORDS

D48/GK, D96/TM, ETRS89, triangle-based transformation, virtual tie point

## 1 Uvod

Od 1. januarja 2008 sta v Sloveniji uradno v uporabi dva državna ravninska koordinatna sistema. Stari sistem označujemo s krajšavo D48/GK. Geodetski datum ima v oznaki letnico 1948 (D48) – gre za leto izračuna astrogeodetske mreže. Horizontalni koordinatni sistem temelji na Besslovem elipsoidu iz leta 1841. Ravninski koordinatni sistem je definiran z Gauß-Krügerjevo projekcijo (GK).

Novi slovenski državni ravninski koordinatni sistem označujemo s krajšavo D96/TM ali kar ETRS89/TM. Dejansko gre za slovensko realizacijo skupnega evropskega terestričnega referenčnega sistema, ki je horizontalna komponenta ETRS-ja – evropskega prostorskega referenčnega sistema (Stopar 2007). Geodetski datum ima v oznaki letnico 1996 (D96), ki je zaokrožena srednja epoha GPS opazovanj v osnovni mreži t. i. EUREF točk. Horizontalni koordinatni sistem temelji na elipsoidu GRS-ja iz leta 1980 (GRS80). Ravninski koordinatni sistem je definiran s prečno (transverzalno) Mercatorjevo projekcijo (TM).

V idealnem svetu je povezava med obema koordinatnima sistemoma vzpostavljena s 7-parametrično prostorsko podobnostno transformacijo. Za transformacijo državnih prostorskih podatkovnih zbirk zahtevamo neprekinjeno (zvezno) transformacijo za celotno državno ozemlje (Mozetič in Komadina 2006; Berk in sod. 2007b; Triglav Čekada s sodelavci 2008). Izboljšanje natančnosti takšne transformacije je možno z zgoščevanjem veznih točk po celotnem državnem ozemlju. Žal samo to ne pripelje daleč. Model 7-parametrične datumske transformacije za ozemlje Slovenije omogoča kvečjemu metrsko natančnost. Takšni optimalni državni parametri so prosto dostopni, prav tako tudi program za izvedbo transformacije (Kozmus in Stopar 2007). Za nadaljnje izboljšanje natančnosti transformacije je nujna tudi sprememba modela transformacije, ki mora omogočati ustrezno razpačenje starega, deformiranega koordinatnega sistema.

## 2 Trikotniško zasnovana odsekoma afina transformacija

V opravljenih primerjavah različnih modelov transformacije na različno velikih območjih je bilo ugotovljeno, da lahko za transformacijo izberemo tudi zelo poenostavljen model, in sicer neposredno transformacijo med obema ravninskima koordinatnima sistemoma (Radovan s sodelavci 2006, 25–48; Berk in Duhovnik 2007, 805).

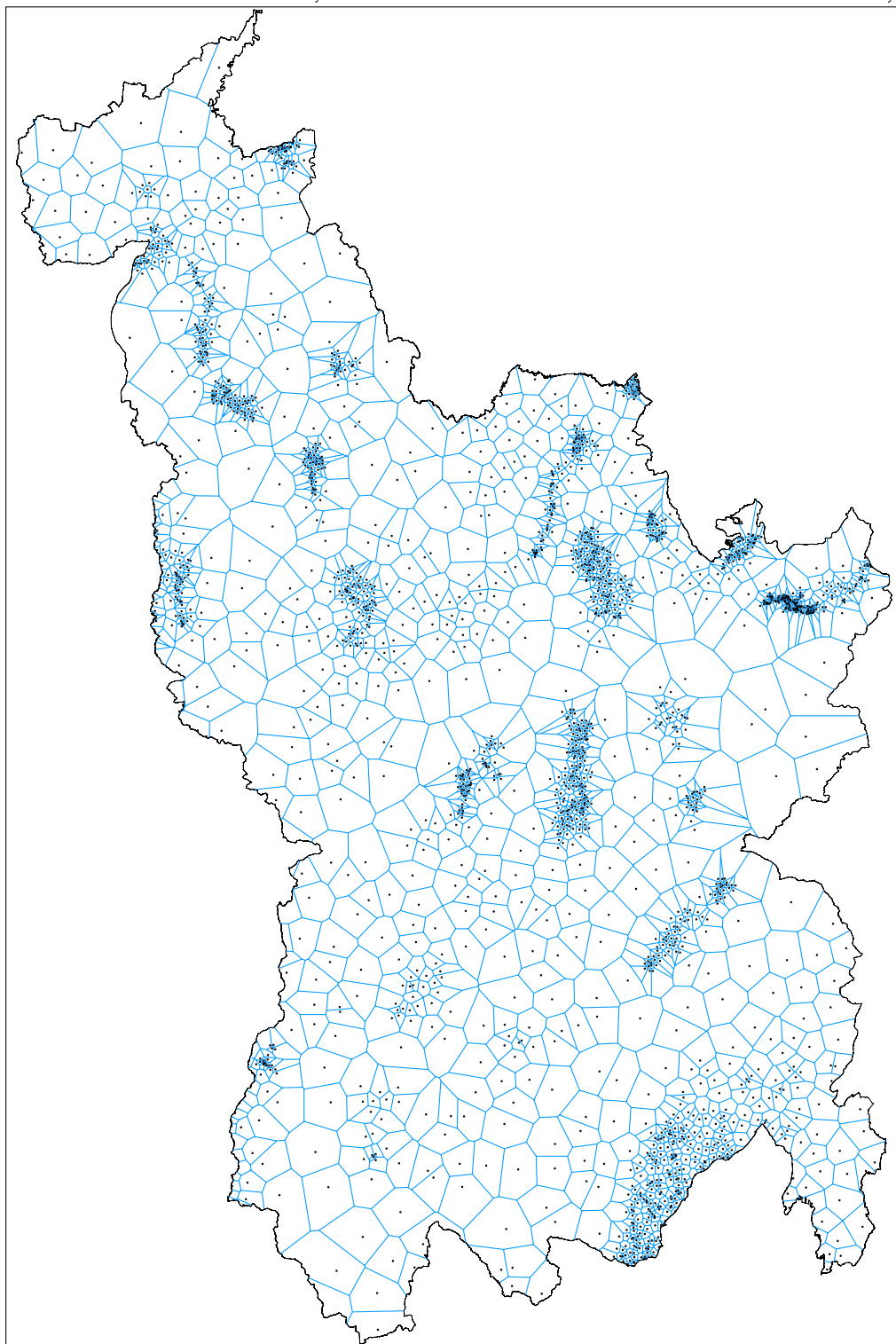
Trikotniško zasnovana odsekoma afina ravninska transformacija (v nadaljevanju: trikotniška transformacija) je izbrana zaradi svoje učinkovitosti. Gre za transformacijo po trikotnih odsekih, dobljenih z Delaunayjevo triangulacijo – oglišča trikotnikov so izbrane vezne točke transformacije. Topološko ujemanje Delaunayjeve triangulacije niza veznih točk v izvornem in ciljnem koordinatnem sistemu zagotavlja tudi, da je transformacija povratna.

Trikotniška transformacija je bila sicer v Sloveniji predlagana in nato precej uporabljana za izboljšave položajne natančnosti zemljiškega katastra (Berk 2001; Korošec in Berk 2004), učinkovita pa je tudi pri uskladitvi podatkov ob državni meji (Barborič s sodelavci 2008). Identičen model za transformacijo med starim in novim koordinatnim sistemom so izbrali na primer v Veliki Britaniji (Greaves in Cruddace 2001), na Finskem (Ollikainen in Ollikainen 2004) in v Švici (Kistler in Ray 2007).

## 3 Zagotovitev veznih točk za transformacijo

Aktivnosti za zagotovitev kakovostne transformacije med starim in novim državnim koordinatnim sistemom so se na Geodetski upravi Republike Slovenije začele leta 1997. Šlo je za izvedbo geodetskih GPS meritev z namenom zgoščevanja navezovalne mreže. Poleg nove navezovalne mreže je bil cilj tudi

*Slika 1: Razporeditev 1958 ETRS točk, ki so bile uporabljene za določanje virtualnih veznih točk za trikotniško transformacijo, in Veronojevi poligoni okoli njih. ►*



sanacija trigonometrične mreže in ugotavljanje neskladij med trigonometričnimi točkami v mrežah II., III. in IV. reda. Te točke so bile z GPS izmero določane tudi že pred uvedbo novega državnega ravninskega koordinatnega sistema (pred izborom nove kartografske projekcije). Zato se jih je prijelo kar ime »ETRS točke«; koordinate v D96/TM so bile izračunane naknadno. ETRS točke so torej točke, ki imajo na osnovi izmere določene koordinate tako v D48/GK kot tudi v D96/TM.

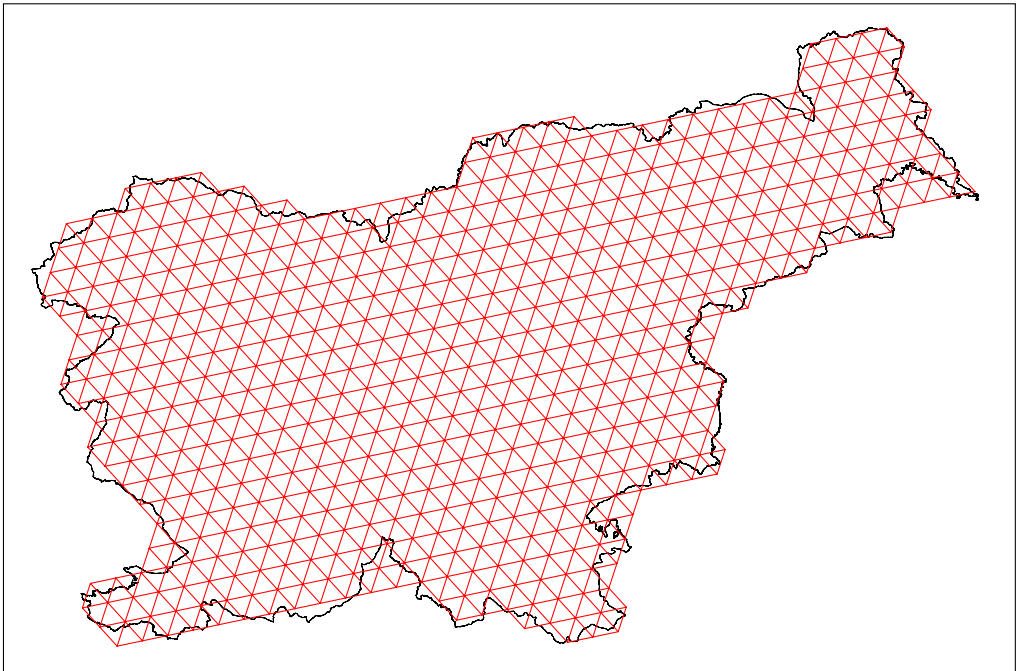
Na opisani način je bilo do leta 2006 izmerjenih 67 okvirnih mrež in 43 navezovalnih mrež. Po letu 2006 so bile na podlagi analiz kakovosti ETRS točk na posameznih območjih države in analiz pokritosti z ETRS točkami (Radovan s sodelavci 2006, 59–62; Berk s sodelavci 2008a, 20–32) izvedene še nekatere zgostitve nastalih vrzeli. V približno desetih letih je bilo tako skupaj določenih prek 2000 ETRS točk (Mozetič in Komadina 2006).

Na podlagi analiz skladnosti okvirnih mrež je bilo nekaj deset točk naknadno izločenih (Berk s sodelavci 2008a, 19–32; Berk s sodelavci 2009a, 16–17). Za določitev končnega niza veznih točk med starim in novim koordinatnim sistemom je bilo uporabljenih 1958 ETRS točk (slika 1).

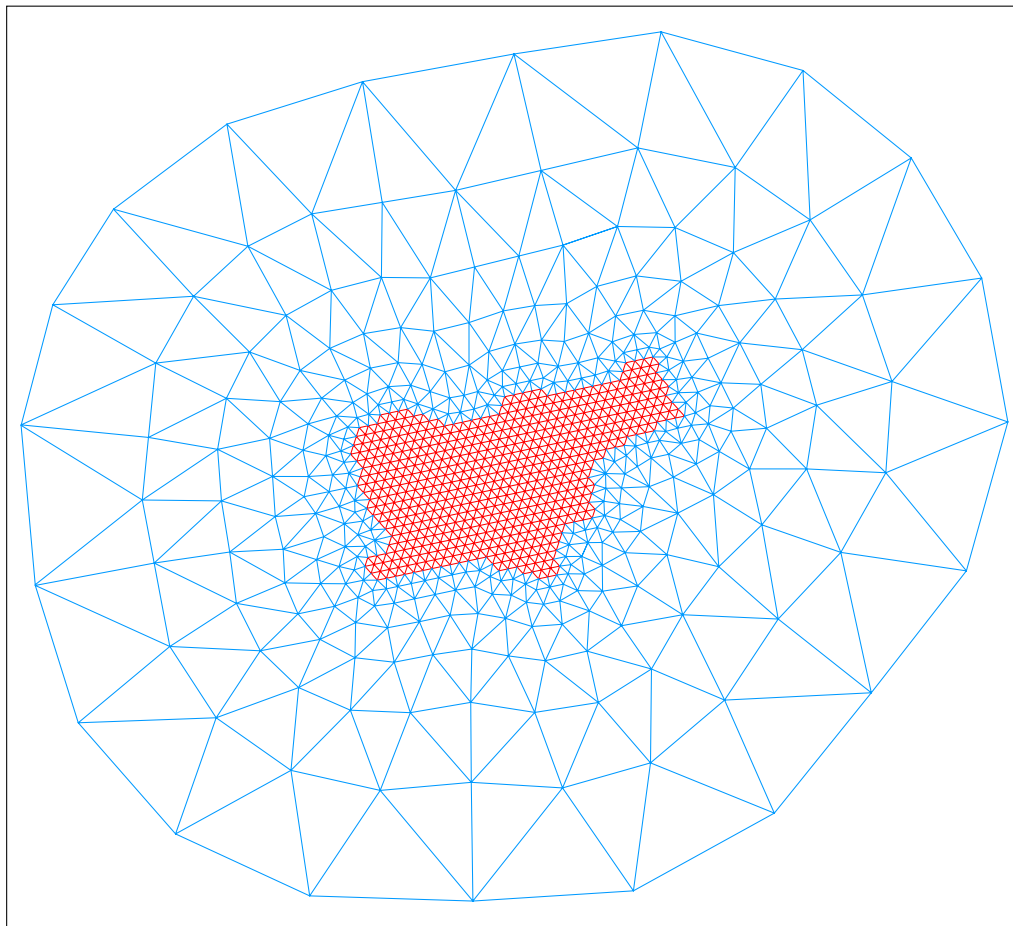
## 4 Metodologija izbora veznih točk za trikotniško transformacijo

Postopek izbora veznih točk RAZLIČICA 1.0 je slonel na redčenju ETRS točk (Berk in Duhovnik 2007; Berk s sodelavci 2008a, 167–183). Dobljeni niz vsebuje 616 veznih točk, ki tvorijo 1212 trikotnikov. Z uporabo niza veznih točk RAZLIČICA 1.0 je bila v letu 2007 izvedena transformacija celotne zbirke ortofoto posnetkov (Berk s sodelavci 2007a), v letu 2008 pa še celotne (rastrske) zbirke DTK25 in DTK50 (Berk s sodelavci 2008b); v obeh primerih je šlo za transformacijo iz D48/GK v D96/TM.

Pomanjkljivost izbora veznih točk zgolj z redčenjem so bile delno odpravljene z RAZLIČICO 2.0, kjer je za izbor poleg geometrijskega upoštevan tudi kriterij reprezentativnosti ETRS točk (Berk s sode-



Slika 2: Pravilna trikotniška mreža virtualnih veznih točk.



Slika 3: Osnovna mreža (rdeča) in razširitvena mreža virtualnih veznih točk (modra).

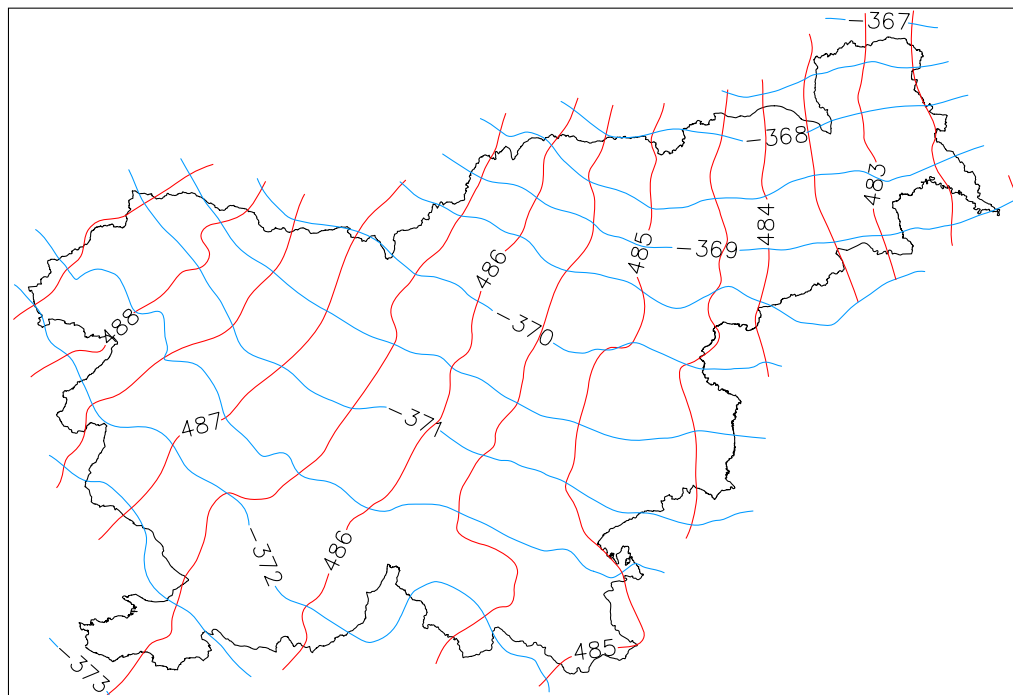
lavci 2009b, 29–36). Dobljeni niz vsebuje 578 veznih točk, ki tvorijo 1136 trikotnikov. Z uporabo niza veznih točk RAZLIČICA 2.0 je bila v letu 2009 izvedena transformacija vseh novoizdelanih ortofoto posnetkov (Berk s sodelavci 2009c); tokrat je šlo za transformacijo iz D96/TM v D48/GK, saj so bili ti ortofoti že izdelani v novem koordinatnem sistemu.

V nadaljevanju je predstavljen končni niz veznih točk za trikotniško transformacijo med D48/GK in D96/TM – RAZLIČICA 3.0 (Berk s sodelavci 2009a, 3–54).

Osnovna ideja je, da niz veznih točk ne bi vseboval na terenu obeleženih točk z neposredno določenimi koordinatami v D48/GK in D96/TM, ampak točke z vnaprej določeno optimalno razporeditvijo – torej virtualne vezne točke. Kot osnova za pokritje države z mrežo virtualnih veznih točk je izbrana pravilna trikotniška mreža. Stranica trikotnika je določena tako, da je njegova površina 20 km<sup>2</sup>; stranica osnovnega trikotnika meri 6796 m (slika 2).

Zaradi potrebe po določitvi transformacije na širšem območju, ki se pojavlja predvsem v kartografiji, je osnovna mreža razširjena navzven. Gostota točk mreže se postopno zmanjšuje. Niz veznih točk RAZLIČICA 3.0 vsebuje skupaj 899 virtualnih veznih točk; 594 točk je v osnovni mreži, 305 točk pa v razširitveni mreži (slika 3).





Slika 4: Ploskvi pomikov iz D48/GK v D96/TM za trikotniško transformacijo ob uporabi niza virtualnih veznih točk RAZLIČICA 3.0; prikazane so črte enakih pomikov (istopomičnice), in sicer komponenti proti severu (rdeče) in proti vzhodu (modre).

Dobljeni niz vsebuje 899 veznih točk in tvori 1776 Delaunayjevih trikotnikov. Površina celotnega območja (v D96/TM) je 358.504 km<sup>2</sup>, kar je približno 18-kratnik površine države.

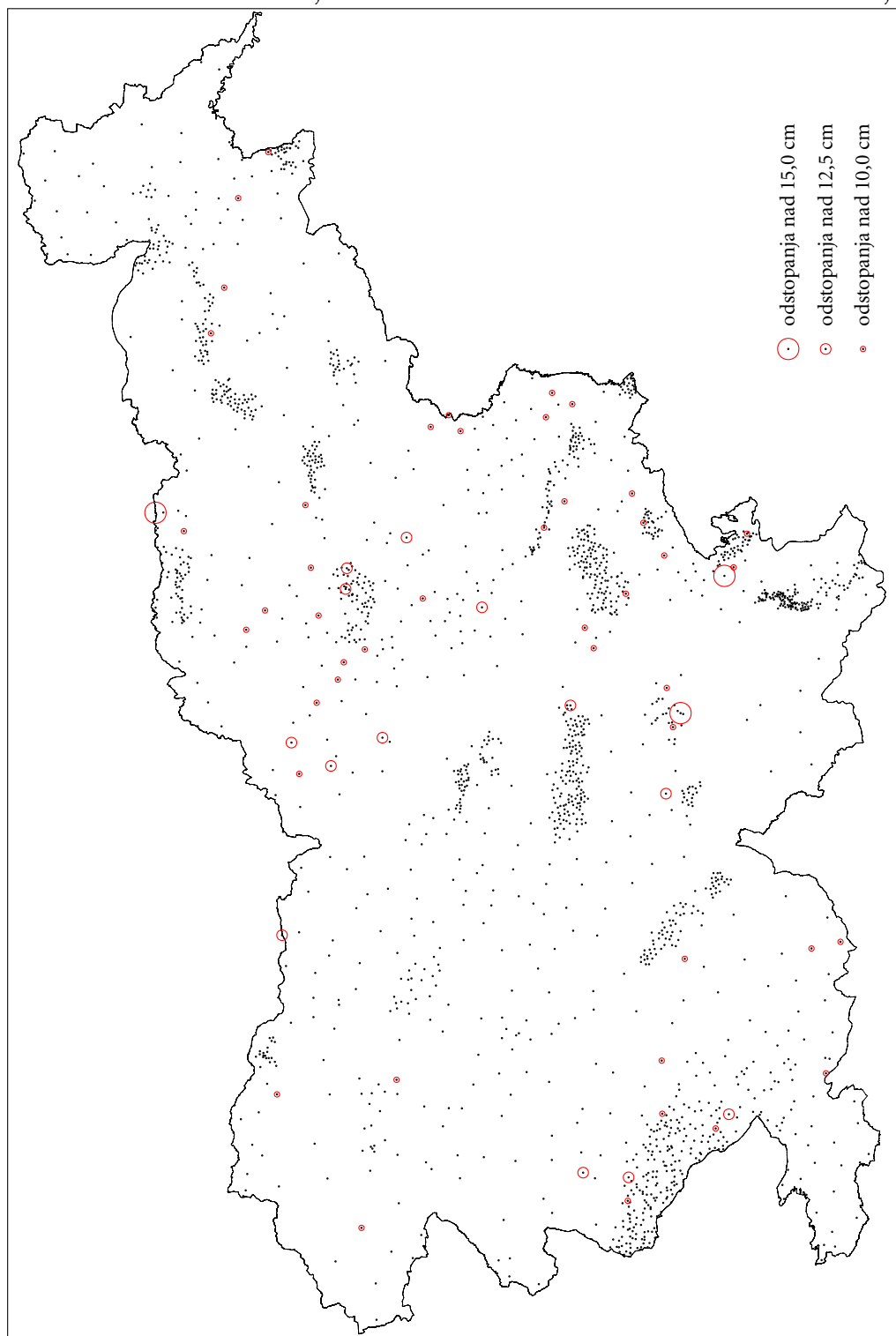
Vektor pomikov v virtualni vezni točki je določen na osnovi znanih vektorjev v ETRS točkah, ki ležijo v njeni neposredni okolici. Vektorjem v ETRS točkah so dodeljene ustrezne uteži, s pomočjo katerih je upoštevan tudi vpliv neenakomerne gostote ETRS točk in različne oddaljenosti ETRS točk od izbrane virtualne vezne točke.

Za eliminacijo vpliva neenakomerne gostote ETRS točk so bile uporabljene Veronojeve površine, ki zagotavljajo, da vsaka ETRS točka »zastopa« območje, ki je tej točki najbližje (slika 1).

Končna utež je kvocient Veronojeve površine in površine kroga s polmerom, enakim oddaljenosti ETRS točke od izbrane virtualne vezne točke. Optimalni niz (virtualnih) veznih točk – RAZLIČICA 3.0 – je določen empirično.

Nepravilnosti ploskev pomikov (slika 4) najbolj nazorno prikažeta nehomogeno natančnost starega koordinatnega sistema.

Slika 5: Odstopanja na ETRS točkah po transformaciji s pomočjo niza virtualnih veznih točk, RAZLIČICA 3.0; označene so ETRS točke, ki odstopajo za več kot 10 cm. ►



## 5 Ocena kakovosti trikotniške transformacije

Kakovost trikotniške transformacije ob uporabi optimalnega niza virtualnih veznih točk RAZLIČICA 3.0 je ocenjena na osnovi razpoložljivih ETRS točk. Kratek povzetek rezultatov transformacije 1958-ih ETRS točk je naslednji:

- položajni standardni odklon ETRS točk je 4,2 cm;
- največje položajno odstopanje ETRS točke je 18,6 cm.  
Večja položajna odstopanja po transformaciji so prikazana na sliki 5.
- največja površinska deformacija je 0,085 ‰;
- največja dolžinska deformacija je 0,065 ‰;
- največja kotna deformacija je 15,0".

Dobljena kotna deformacija zagotavlja, da v praksi ne bo težav zaradi izgube pravokotnosti stavb.

## 6 Sklep

Da bo nov koordinatni sistem dejansko lahko zaživel, je poleg vzpostavitve le-tega treba zagotoviti tudi kakovostno transformacijo med starim in novim koordinatnim sistemom. Dejansko je s kakovostno transformacijo s pomočjo novega, sodobno definiranege geodetskega datuma (D96), redefiniran stari geodetski datum (D48). Izbrana je trikotniška transformacija na ravnini. Ključni argumenti za izbrani model so poleg dosežene natančnosti predvsem zveznost in povratnost transformacije. Končnega niza veznih točk RAZLIČICA 3.0 za območje Slovenije kot celote ne bo možno značilno izboljšati. Virtualne vezne točke nadomeščajo dejansko izmerjene točke, pri čemer je izbor podrejen optimalni geometriji (pravilna trikotniška mreža). Predstavljeni model je namenjen transformaciji položajno najnatančnejših prostorskih podatkovnih zbirk. Za pretežni del državnega ozemlja je zagotovljena poddecimetska natančnost transformacije.

## Zahvala

*Za pomoč in koristne nasvete gre zahvala dr. Bojanu Stoparju in Jocu Triglavu.*

## 7 Viri in literatura:

- Barborič, B., Triglav Čekada, M., Berk, S., Kosmatin Fras, M. 2008: Metodologija za izboljšavo in harmonizacijo geodetskih podlag za potrebe čezmejnega prostorskega načrtovanja. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008. Ljubljana.
- Berk, S. 2001: Možnosti transformacije katastrskih načrtov grafične izmere v državni koordinatni sistem. Geodetski vestnik 45, 1–2. Ljubljana.
- Berk, S., Bajec, K., Fajdiga, D., Klanjšček, M., Koler, B., Kozmus Trajkovski, K., Kuhar, M., Likovič, D., Mahnič, G., Mesner, N., Radovan, D., Sterle, O., Stopar, B. 2008: Razvoj DGS 2007. Prehod na nov koordinatni sistem. Končno poročilo projekta. Geodetski inštitut Slovenije. Ljubljana.
- Berk, S., Bajec, K., Triglav Čekada, M., Fajdiga, D., Mesner, N., Arh, I., Žagar, T., Janežič, M., Fabiani, N., Radovan, D., Stopar, B., Koler, B., Kuhar, M., Sterle, O., Pavlovčič Prešeren, P., Ambrožič, T., Kogoj, D., Savšek, S. 2009a: Razvoj DGS 2009. Prehod na nov koordinatni sistem. Končno poročilo projekta. Geodetski inštitut Slovenije. Ljubljana.

- Berk, S., Bajec, K., Triglav Čekada, M., Fajdiga, D., Mesner, N., Žagar, T., Kete, P., Vodopivec, A., Klanjšček, M., Radovan, D., Stopar, B., Koler, B., Kuhar, M., Kozmus Trajkovski, K., Pavlovčič Prešeren, P., Sterle, O. 2009b: Razvoj DGS 2008. Prehod na nov koordinatni sistem. Končno poročilo projekta. Geodetski inštitut Slovenije. Ljubljana.
- Berk, S., Duhovnik, M. 2007: Transformacija podatkov Geodetske uprave Republike Slovenije v novi državni koordinatni sistem. Geodetski vestnik 51-4. Ljubljana.
- Berk, S., Fajdiga, D., Bric, V., Klanjšček, M. 2009c: Transformacija DMR in ortofotov. Tehnično poročilo projekta. Geodetski inštitut Slovenije. Ljubljana.
- Berk, S., Janežič, M., Kete, P., Mesner, N., Radovan, D. 2007a: Razvoj ortofota v novem koordinatnem sistemu. Končno poročilo projekta. Geodetski inštitut Slovenije. Ljubljana.
- Berk, S., Janežič, M., Kete, P., Mesner, N., Radovan, D., Rosulnik, P. 2007b: Opredelitev postopkov pretvorbe podatkov Geodetske uprave Republike Slovenije v novi državni koordinatni sistem. Končno poročilo projekta. Geodetski inštitut Slovenije. Ljubljana.
- Berk, S., Kete, P., Janežič, M., Dežman Kete, V. 2008b: Transformacija DTK 25 in DTK 50 in nova razdelitev na liste. Končno poročilo projekta. Geodetski inštitut Slovenije. Ljubljana.
- Greaves, M., Cruddace, P. 2001: The OS's new coordinate Transformation for Great Britain. Geomatics World 10-1. Stevenage.
- Kistler, M., Ray, J. 2007: Neue Koordinaten für die Schweiz. Geomatik Schweiz 9. Scherz.
- Korošec, M., Berk, S. 2004: Digitalni katastrski načrti in njihova izboljšava. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2003–2004. Ljubljana.
- Kozmus, K., Stopar, B. 2007: SiTraNet 1.0. Spletni program. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana. Medmrežje: <http://193.2.92.129/> (22. 4. 2010).
- Mozetič, B., Komadina, Ž. 2006: Transformacija!? Geodetski vestnik 50-1. Ljubljana.
- Ollikainen, Mo., Ollikainen, Ma. 2004: The Finnish Coordinate Reference Systems. Finnish Geodetic Institute & National Land Survey of Finland. Helsinki.
- Radovan, D., Berk, S., Fegic, J., Ipša, A., Klanjšček, M., Mesner, N., Vrenko, D., Ambrožič, T., Bogatin, S., Jaklič, S., Kogoj, D., Koler, B., Kozmus, K., Kuhar, M., Lisec, A., Marjetič, A., Pavlovčič Prešeren, P., Savšek Safič, S., Sterle, O., Stopar, B. 2006: Razvoj OGS 2006. Prehod na novi koordinatni sistem. Končno poročilo projekta. Geodetski inštitut Slovenije. Ljubljana.
- Stopar, B. 2007: Vzpostavitev ESRS v Sloveniji. Geodetski vestnik 51-4. Ljubljana.
- Triglav Čekada, M., Berk, S., Janežič, M., Barborič, B., Kete, P., Radovan, D., Pegan Žvokelj, B., Brajnik, M., Režek, P. 2008: Podrobna opredelitev protokola prehoda prostorskih podatkovnih zbirk Geodetske uprave Republike Slovenije v novi državni koordinatni sistem. Končno poročilo projekta. Geodetski inštitut Slovenije. Ljubljana.



## **3D VIZUALIZACIJA GIS PODATKOV KOT INŠTRUMENT PRI PRESOJI VPLIVA POSEGOV NA VIDNO OKOLJE – PRIMER ČRPALNE HIDROELEKTRARNE KOZJAK**

**Timotej Mišič**

Vodnogospodarski biro Maribor d. o. o.

misic@vgb.si

UDK: 659.2:004:91

621.311.21:711(497.4)

### **IZVLEČEK**

#### **3D vizualizacija GIS podatkov kot inštrument pri presoji vpliva posegov na vidno okolje – primer črpalne hidroelektrarne Kozjak**

Posegi v prostor so skoraj vedno povezani s spremembo krajinske podobe. Izvedena računalniška vizualizacija načrtovane črpalne hidroelektrarne je predstavljala zahtevno nalogo predvsem zaradi velikega območja, ki ga načrtovani objekti pokrivajo. Programska oprema Virtual Nature Studio je bila izbrana zaradi možnosti povezave z GIS podatki. Izdelana 3D vizualizacija širšega območja načrtovanih posegov je pokazala, da je takšen pripomoček lahko uporabna in solidna podlaga tako pri načrtovanju velikih elektroenergetskih objektov kot pri sodelovanju z javnostmi v času načrtovanja in vodi v bolj argumentirano ter transparentnejše načrtovanje.

### **KLJUČNE BESEDE**

računalniška vizualizacija, prostorsko načrtovanje, GIS, pokrajina, vidno okolje, elektroenergetika, črpalna hidroelektrarna

### **ABSTRACT:**

#### **3D visualization of GIS spatial data as a tool in assessment of visual impact – an example of pumped storage hydroelectric power plant Kozjak**

Large scale developments such as pumped storage hydroelectric power plants may have a considerable visual impact on landscapes. The performed computer visualization of proposed power plant has proved to be a difficult task due to large study area. Virtual Nature Studio software was chosen to carry out the visualization due to its ability of implementing GIS data in many different ways. The performed visualization showed that computer visualization of planned landscapes represents a powerful tool in spatial decision making, leading to a more transparent and participatory planning process.

### **KEY WORDS**

computer visualization, spatial planing, GIS, landscape, scenic environment, electric power system, pumped storage hydroelectric power plant

## 1 Uvod

Gradnja novih velikih energetskih objektov večinoma predstavlja velik poseg v prostor, povezan s spremembo krajinske podobe in bivalne kvalitete ljudi. Javnost ter predvsem lokalno prebivalstvo je v zadnjih letih postalo zelo kritično pri načrtovanju takšnih objektov. Posegi, ki so bili še pred dvema desetletjema, v času planskega gospodarstva, samoumevni, so danes podvrženi poleg temeljite medsektorske presoje tudi kritičnemu spraševanju in preverjanju s strani laične javnosti. Razlog temu je med drugim povečana okoljska ozaveščenost in splošno laično znanje o okolju ter spremenjena razmerja v stvarnopravnem sektorju. Posegi s strani javnosti niso več nekritično tolerirani kot v preteklosti. Nasprotno, javnost se aktivno vključuje v načrtovalske procese v najrazličnejših oblikah (mediji, ustanavljanje civilnih iniciativ...). Pojma »trajnost« in »soodločanje« sta danes temelj načrtovanja (Haaren 2004) in sta zasidrana v evropskih dokumentih (npr. Arhuška konvencija).

Moderne informacijske tehnologije in obilica najrazličnejših prostorskih podatkov omogočajo stroki, ki deluje na področju prostorskega načrtovanja in okoljevarstva, številne možnosti in tehnike računalniške vizualizacije prostorskih podatkov in predvidenih posegov v okolje. S tem postaja proces načrtovanja in odločanja transparentnejši, načrtovanje in predvideni vplivi se bolj približajo zainteresirani ter neposredno zainteresirani javnosti in končno posegi bolje sprejeti v lokalnem okolju.

Tudi slovenska zakonodaja nalaga usmeritve, povezane s problematiko vidne kakovosti in bivalne kvalitete pokrajine. Bolj splošne usmeritve podaja npr. Odlok o strategiji prostorskega razvoja Slovenije (Ur. l. RS 76/04), ki nalaga, da se pri razvoju energetskih sistemov upošteva načela varstva bivalnega in drugega okolja in izboljševanja kakovosti prostora, nekoliko konkretnije usmeritve pa daje Uredba o prostorskem redu Slovenije (Ur. l. RS 122/04), ki nalaga, da je infrastrukturne sisteme treba načrtovati tako, da so čim manj vidno izpostavljeni, da je zagotovljeno ohranjanje kulturne dediščine ter da naj se v čim večji meri ohranja obstoječe in omogoča nove poglede na kakovostne prostorske strukture.

Na primeru načrtovane črpalne hidroelektrarne Kozjak smo želeli pokazati, da predstavlja računalniško podprta 3D vizualizacija neposredno prizadetega območja posega primerno in solidno podlago za realistično predstavitev podobe predvidenega objekta zainteresirani javnosti. Vizualizacija, predstavljena v tem članku, je bila izdelana v juniju 2008.

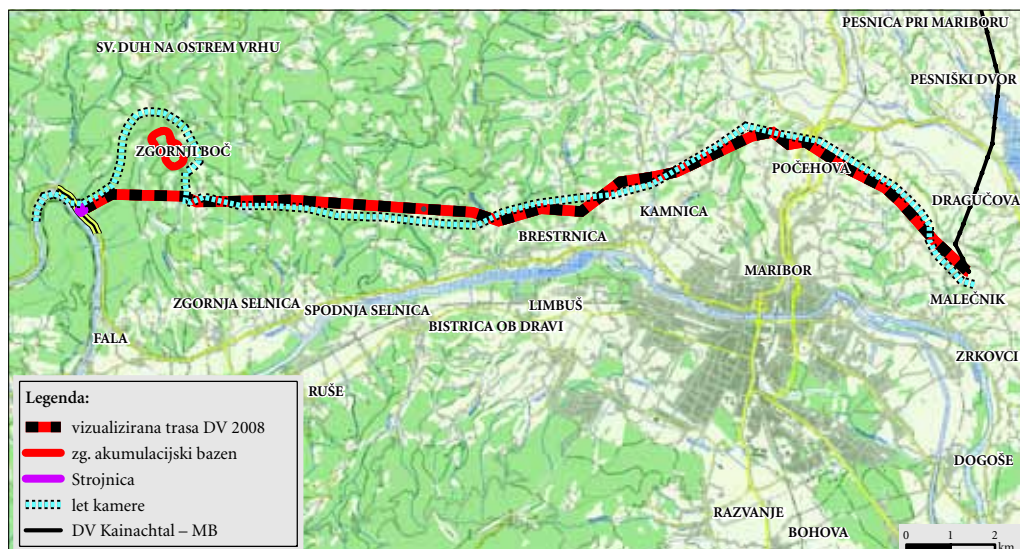
## 2 Opis objekta vizualizacije in izbira orodja za vizualizacijo

### 2.1 Opis objekta

Dravske elektrarne Maribor načrtujejo gradnjo črpalne hidroelektrarne (ČHE) na hribovju Kozjaka, ki bi dopolnjevala verigo hidroelektrarn na Dravi. Črpalno elektrarno sestavlja več glavnih objektov. Zgornji akumulacijski bazen bi ležal na Kolarjevem vrhu in bi imel vsebino 2,9 milijonov m<sup>3</sup>. S spodnjo akumulacijo, obstoječim bazenom HE Fala, bi bil povezan s podzemnim tlačnim cevovodom. Pred iztokom v spodnji bazen ob glavni cesti G I-1 Dravograd–Maribor bi se nahajal strojnični objekt ČHE s svojim podzemnim in nadzemnim delom. Strojnica ČHE bi bila s 400 kV daljnovodno povezavo priključena na omrežje z vzankanjem v obstoječi 400 kV daljnovod Kainachtal-RTP Maribor.

### 2.2 Zahteve za izbor orodja

Na tržišču je cela vrsta programskih orodij za 3D prostorsko vizualizacijo pokrajine. Izbor pravega orodja je v prvi vrsti odvisen od ciljev vizualizacije. Cilji vizualizacije postavljajo specifične zahteve orodjem, kot npr. zmožnost vizualizacije v realnem času, nivo podrobnosti, integracija GIS podatkov, način upodabljanja vegetacije in druge (Lange s sodelavci 2003). Prav tako pomembno je tudi upošte-



Slika 1: Pregledna karta predvidenih objektov.

vanje drugih zahtev in omejitev, kot so velikost območja za vizualizacijo, ali gre za vizualizacijo realne (obstoječe) ali načrtovane krajine ter nivo podrobnosti (v odvisnosti od oddaljenosti opazovanja).

Tridimenzionalna vizualizacija realnih ali načrtovanih krajin postavlja visoke zahteve predvsem na računske zmogljivosti strojne opreme (Egger, Geier in Muhar 2001). Eden glavnih razlogov za to je vizualiziranje vegetacije. Ta problem je še posebno prisoten pri vizualizacijah odprte (po)krajine z obsežnimi zelenimi površinami.

V Sloveniji ima 3D vizualizacija najdaljšo tradicijo v arhitekturi, kjer pa je poudarek predvsem na vizualizaciji samih objektov v smislu njihovega estetskega zaznavanja kot pa na presoji sprememb krajinske podobe. Vendar so tudi pri nas že bile izdelane zahtevne 3D vizualizacije za potrebe prostorske preveritve posega zaradi gradnje velikih infrastrukturnih objektov (Kovačič in Supej 2004).

Velikost območja vizualizacije je znašala okoli 20.000 ha oziroma 200 km<sup>2</sup>. Skupna oddaljenost skrajnih robov vseh objektov, t. j. strojnice in mesta vzankanja v obstoječi daljnovod znaša okoli 20 km. Najvišja nadmorska višina oddaljenosti preleta kamere znaša okoli 1700 m, in sicer na lokaciji zgornjega akumulacijskega bazena (okoli 1000 m). Modeliran pas okoli obravnavanih posegov, ki je bil vizualiziran, je znašal okoli 4 km.

Predmet vizualizacije je bila t. i. načrtovana krajina, t. j. načrtovan objekt z vidno opaznimi posledicami v pokrajini. Gradnja načrtovanih objektov zahteva izgradnjo nasipov (mestoma višine do 70 m), posek gozdov, postavljanje stebrov daljnovoda (višine do 50 m), gradnjo strojnice itd. Vse to bistveno spreminja krajinsko podobo.

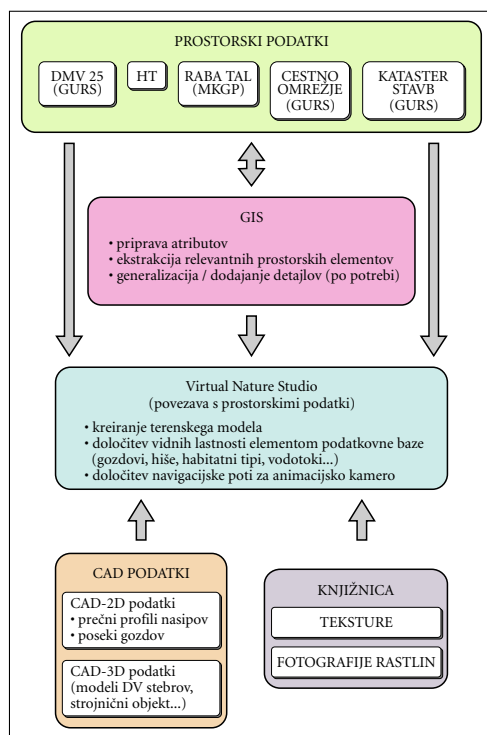
Nivo podrobnosti je zelo variabilen. Sam zgornji bazen kot objekt velikih razsežnosti in velike nadmorske višine (lokalno najvišji vrh) zahteva bolj oddaljeno opazovanje (> 1 km), medtem ko trasa daljnovoda z električnimi vodniki zahteva bistveno manjšo razdaljo opazovanja (> 50 m).

Za vizualizacijo je bil uporabljen Virtual Nature Studio 2 (v nadaljevanju VNS), ki je trenutno ena vodilnih programskih oprem za vizualizacijo (po)krajine z uporabo GIS podatkov. Njegova uporaba je dokumentirana v številnih strokovnih prispevkih (Mörtl 2005; Stemmer in Müller 2006; medmrežje 1). Clasen in Paar 2008 ga imenujeta kot *de facto* standard za vizualizacijo (po)krajine na podlagi GIS podatkov. Primeren je za vizualizacijo velikih območij naenkrat in uporablja atributne podatke vektorskih slojev, rastrske tematske karte, ortofoto in satelitske posnetke idr.



### 3 Podatki

Uporabljeni podatki obsegajo tri sklope: prostorske podatke iz javnih prostorskih evidenc, CAD podatke ter rastrske podatke knjižnice, ki obsegajo teksture in fotografije rastlin. Od treh skupin so le CAD podatki specifični za projektirani objekt.

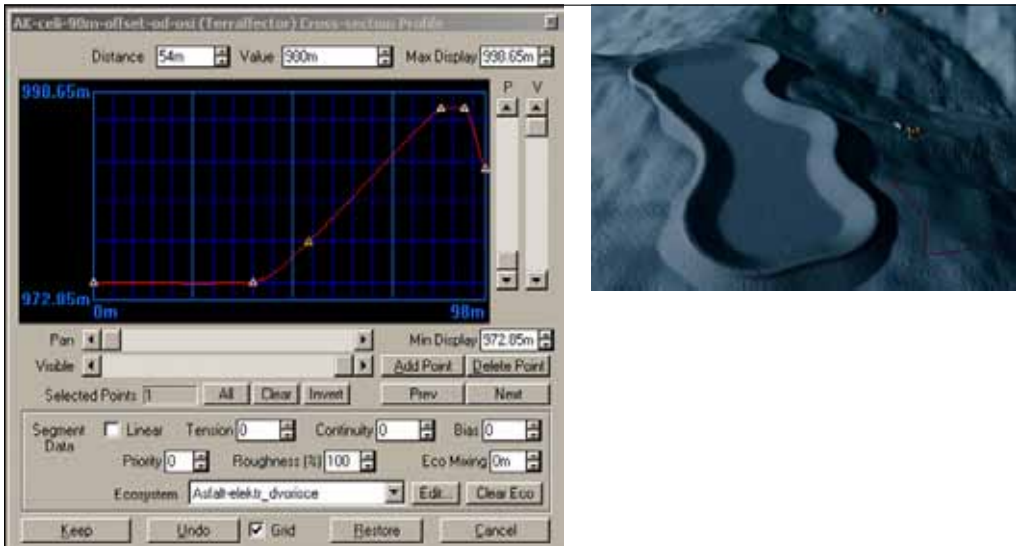


Slika 2: Vhodni podatki za izdelavo vizualizacije.

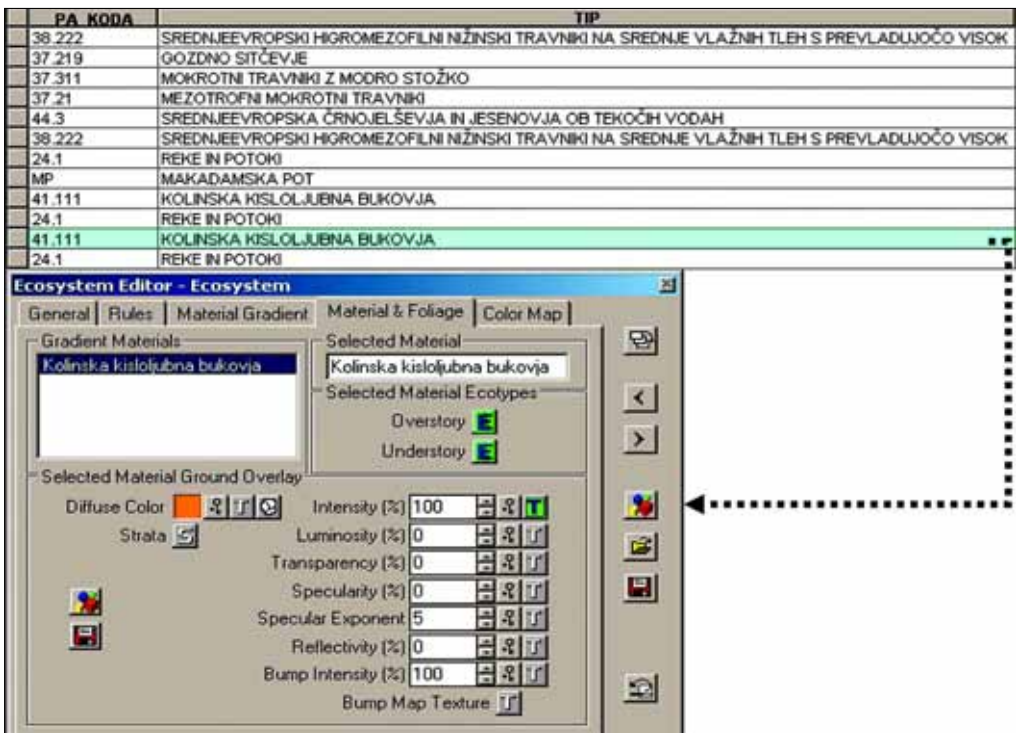
### 4 Modeliranje vizualizacije v VNS-ju

Osnovni sloj, ki je pogoj za vsakršno vizualizacijo, je model reliefa. Vsako točko modela reliefa lahko v VNS-ju modeliramo z največ štirimi in najmanj eno plastjo. Primer modeliranja s štirimi plastmi je npr. gozd. Model reliefa je lahko pokrit s teksturo, ki ponazarja humusno plast (angleško *ground effect*). Nato ji sledi tekstura, ki ponazarja odpadlo listje (*ground overlay*), v naslednjem sloju sledi podrast s travami in lesno podrastjo kot spodnji ekotip (*ecosystem understory*), v zadnjem sloju pa večja drevesa kot zgornji ekotip (*ecosystem overstory*). To sosledje je analogno uporabljeno tudi v nekopenskih ekosistemih (jezera, reke ...).

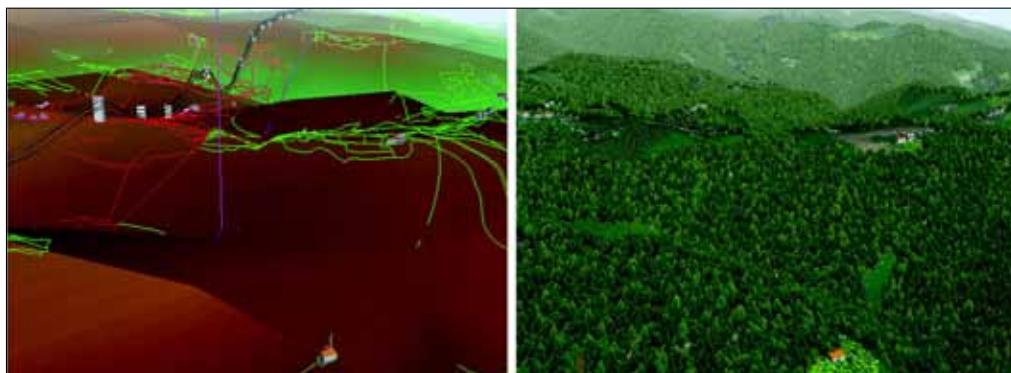
- **Modeliranje zgornjega akumulacijskega bazena:** Modeliranje zgornjega akumulacijskega bazena je bilo izvedeno na podlagi t. i. terafektorjev (*teraffectors*). Terafaktor omogoča spreminjanje originalnega modela reliefa vzdolž vektorja (linije). Terafaktorju je bil podan prečni prerez projektiranega bazena ter os bazena v situativnem prikazu. Nivo gladine vode v akumulacijskem bazenu se v praksi (pri realnem objektu) spreminja v odvisnosti od obratovanja črpalke. Pri črpanju vode iz doline se gladina v bazenu dviguje in pri praznjenju spušča. Zato je bil pri animiranem preletu čez bazen modeliran tudi nivo gladine vode v akumulaciji, ki se je med preletom virtualne kamere postopoma dvigoval od minimalne do maksimalne projektirane kote gladine.



Slika 3: Prikaz modeliranja linijskih reliefnih elementov v VNS-ju. Levo: primer prečnega prereza, ki se v pogovornem oknu terafektorja določi za posamezne odseke vektorske linije. Desno: možni rezultat modeliranja reliefa s terafektorjem.



Slika 4: Povezava atributa iz podatkovne baze GIS z ustreznim predhodno ustvarjenim »ekosistemom« v VNS.



Slika 5: Levo: Prikaz poligonskega sloja na digitalnem modelu reliefa, ki je atributno povezan z predhodno modeliranimi ekosistemi v VNS. Desno: isto območje s končnim prikazom (rendering).

- **Modeliranje strojnice:** Strojnica je bila izdelana z AutoCAD orodjem na podlagi tlorisa in prečnih prereзов fasad načrta arhitekture. V VNS-ju je bil model strojnice uvožen kot StudioMax objekt (datotečni format 3ds), ker VNS datotečnega formata dwg ne podpira.
- **Modeliranje vegetacijskih površin:** V prvem koraku so se v VNS izdelali posamezni habitatni tipi (podlaga, spodnji ekotip, zgornji ekotip). Nato so se ti t. i. »ekosistemi« navezali na GIS podatkovno bazo (shp format). V odvisnosti od oddaljenosti od obravnavanih objektov sta temu služila dva vektorska poligonska sloja:
  - < 250 m: sloj kartiranja habitatnih tipov (terensko kartiranje v okviru presoje vplivov na okolje),
  - > 250 m: vektorski sloj rabe tal (Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano).
 Pri tem se prek atributa v podatkovni bazi (koda habitatnega tipa ali rabe tal) določi tip ekosistema.
- **Modeliranje stebrov daljnovoda:** Stebri daljnovoda so bili modelirani z AutoCAD orodjem v 3D, in so bili nato uvoženi v VNS kot StudioMax objekti. Tip, stojna lokacija, višina in rotacija posameznega stebra so bili kontrolirani s pomočjo atributov točkovnega vektorskega sloja lokacij stebrov.

X	Y	ROTAT VNS	TIP	TIP VIS	DEJANSKA V	SCALE Y
535109,236	159586,301	252	ZE	ZE-45	45,3	98,88
535193,72	159612,123	252	ZE	ZE-50	50,34	94,76
535378,482	159712,334	252	ZE	ZE-50	50,34	94,76
535480,372	159767,597	252	NE	NE-55	56,49	95,06
535661,69	159865,94	256	ZE	ZE-54	54,26	96,76

Slika 6: Atributna tabela točkovnega vektorskega sloja stojnih mest stebrov, povezana z VNS.

- **Modeliranje stavb, cest in vodotokov:** Stavbe so bile modelirane na podlagi vektorskega sloja tlorisov stavb, ki so bile prikazane (*extrude*) na podlagi atributa višine posamezne stavbe. Za modeliranje cest in vodotokov smo imeli na razpolago poligonske vektorske sloje. Tako ceste kot vodotoki so bili modelirani kot poligoni in ne kot linijski objekti.

## 5 Rezultati

Rezultat vizualizacije je animiran film v dolžini 5 minut. Pot kamere je izbrana tako, da prikaže vse pomembnejše elemente spremembe krajinske podobe v primeru izgradnje elektroenergetskih objektov.



Slika 7: Rezultati vizualizacije. Zgoraj levo: strojnični objekt in spodnja akumulacija HE Fala, pogled z zahodne smeri. Zgoraj desno: zgornji akumulacijski bazen, pogled s severovzhodne strani. Spodaj levo: potek trase daljnovoda čez Srednje. Spodaj desno: trasa daljnovoda nad Rošpohom.

## 6 Sklep

Zaradi kompleksnosti in raznolikosti naravnega okolja z vizualizacijo ni mogoče podati popolne odslikave realnega sveta. Prej lahko govorimo o izločanju očem bistvenih elementov. Vsekakor pa tridimenzionalna simulacija »sintetične« (po)krajine učinkovito ponazori vidni vpliv na okolje zaradi predvidenih ureditev in nudi s tem koristen pripomoček pri načrtovanju. S tehničnega vidika je za vizualizacijo tako obsežnega območja možnost direktne uporabe GIS podatkov zelo zaželena če ne celo nujni potrebna.

Možnosti modernih orodij za vizualizacijo pa seveda nudijo še mnogo možnosti uporabe. Prek GIS podatkov je možno regulirati še druge elemente vizualizacije, kot npr. pokrovnost vegetacijskega gozdov, gostoto travnišč, širjenje poplav, itd. Predvsem pa je mogoče prikazovati scenarije, ki so v okoljskem planiranju še posebno pomembni: kaj se spremeni če ... Vsekakor lahko upamo, da bo z vedno večjo dosegljivostjo vedno natančnejših prostorskih podatkov postala vizualizacija bolj pogosto uporabljeno orodje pri prostorskem načrtovanju.

## 7 Viri in literatura

- Clasen, M., Paar, P. 2008: Globalisierung der Landschaftsvisualisierung. *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung*, XX. Beiträge zum AGIT-Symposium. Heidelberg.
- Egger, K., Geier, B., Muhar, A. 2001: 3D-Visualization-Systems for Landscape Planning: Concepts and Integration into the Workflow of Planning Practice. *Proceedings of 6<sup>th</sup> Symposium on Information Technology in Urban- and Spatial Planning*. Dunaj.
- Kovačič, B., Supej, B. 2004: Izdelava vizualizacije cestnega telesa za potrebe prostorske preveritve. *Geodetski vestnik* 48. Ljubljana
- Lange, E., Schroth, O., Wissen, U., Schmid, W. A. 2003: Anforderungen an Visualisierungstools zur Partizipation der Öffentlichkeit bei der Bewertung der Landschaftsentwicklung. *Proceedings of 8<sup>th</sup> Symposium on Information Technology in Urban- and Spatial Planning*. Dunaj
- Medmrežje 1: <http://www.3dnworld.com/research.php> (6. 3. 2010).
- Mörtl, A. 2005: Fotorealistische dreidimensionale Landschaftsvisualisierung auf der Basis von GIS-Daten – dargestellt am Beispiel eines Waldentwicklungsszenarios im Nationalpark Berchtesgaden. *Angewandte Geoinformatik 2005: Beiträge zum 17. AGIT-Symposium Salzburg*. Heidelberg
- Stemmer, B., Mülder, J. 2006: Unterstützung nachhaltiger Planung durch 3- und 4D Visualisierung mit World Construction Set und Visual Nature Studio. *Proceedings: CORP 2006 & Geomultimedia06*. Dunaj
- v. Haaren, C. 2004: *Landschaftsplanung*. Stuttgart.

## PRIMER UPORABE GEOGRAFSKO OBTEŽENE REGRESIJE S POMOČJO GIS ORODJA

**dr. David Bole**

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

UDK: 91:659.2:004  
311:91

### IZVLEČEK

#### **Primer uporabe geografsko obtežene regresije s pomočjo GIS orodja**

V prispevku prikazujemo uporabo geostatistične metode za raziskovanje prostorske heterogenosti določene pojave. Geografsko obtežena regresija bo bržčas z vključitvijo v najpopularnejšo GIS programsko opremo postala vse bolj uporabljena. Zato predstavljamo teoretsko osnovo, postopek uporabe in tolmačenje geografsko obtežene regresije. Ugotavljamo, da je primerna dopolnilna metoda za raziskovanje lokalnih posebnosti, njena uporaba pa zahteva natančno upoštevanje vseh pogojev uporabe, določeno statistično predznanje in zlasti primerno izbiro spremenljivk.

### KLJUČNE BESEDE

prostorska statistika, geografsko obtežena regresija, lokalna regresija, naselbinska struktura, geografija

### ABSTRACT

#### **The example of the use of geographically weighted regression with the help of the GIS software**

The article shows the use of the geo-statistical method for the research of spatial heterogeneity of a specific occurrence. Geographically weighted regression will, with the incorporation in the most popular GIS software, become even more popular. That's why we are introducing a theoretical basis, the procedure and the interpretation of the geographically weighted regression. We established that this is an adequate accompanying method for the research of local particularities, taking into account all the conditions of their use, a specific statistical knowledge and mainly the adequate choice of variables.

### KEY WORDS

spatial statistics, geographically weighted regression, local regression, settlement structure, geography

## 1 Uvod: (ne)uporaba geografsko obtežene regresije

Statistične prostorske analize so vse bolj pomembno orodje za tolmačenje družbenih in naravnih prostorskih procesov. A hkrati je potrebno priznati, da velik del prostorskih ved uporablja ustaljene statistične metode, pogosto vezane na zgolj opisno statistiko, ki se ukvarja z povzemanjem in pregledovanjem pridobljenih podatkov s pomočjo enostavnih grafičnih ter tabelarničnih opisov. Opisna statistika je nedvomno izjemno pomembno orodje za tolmačenje prostorskih pojavov, vendar obstajajo druge enostavne statistične metode, ki ponujajo drugačne možnosti tolmačenja geografskih informacij in zahtevajo le osnovno poznavanje ter tolmačenje GIS informacij.

Geografsko obtežena regresija (v nadaljevanju GOR) je ena izmed geostatističnih metod, ki ni doživela širše uporabe. To je precej protislovno, saj je GOR metoda načeloma zelo primerna za raziskovanje prostora. Nudi tolmačenje lokalne prostorske statistike, kjer so rezultati vezani na georeferencirane prostorske enote, na primer administrativne enote. Uporaba GOR-a v prostorskih vedah je redkejša zaradi različnih razlogov. Kot prvo je za izvajanje te metode dokaj omejena programska oprema, saj je modul GOR-a šele pred kratkim postal dostopen tudi v enem izmed najširše uporabljenih GIS programov. Zato je bilo izvajanje te metode omejeno le na ožje kroge poznavalcev, zlati na tiste, ki so bolj večji kartografskih analiz in tolmačenja. Naslednji razlog je v tem, da je GOR preiskovalna (mehka) metoda in ne potrjevalna metoda – zelo primerna je za tako imenovano rudarjenje podatkov (*data mining*), kjer skušamo pojasnjevati razloge za prostorsko spreminjanje določenih parametrov in iskanje odvisnosti med prostorskimi spremenljivkami (Mennis 2006). Njen namen ni iskanje prostorske zakonitosti, temveč iskanje lokalnih posebnosti (Fotheringham in ostali 2002). Tretji razlog za manjšo uporabo je bolj subjektiven. Za razlago in izvedbo GOR-a je zahtevan postopek, kjer je potrebno zahtevnejše statistično predznanje, zato onemogoča širšo uporabo v tistih vedah, kjer se zahtevnejše statistične metode redkeje uporabljajo.

V tem prispevku je predstavljena uporaba GOR-a na primeru določanja osnovne naselbinske zgradbe Ljubljanske urbane regije. Metoda je v tem primeru zelo primerna, saj ne bomo iskali splošnih zakonitosti, temveč »lokalne posebnosti«. Rezultat GOR-a bomo skušali interpretirati in primerjati s rezultati klasičnih geografskih raziskav, ki temeljijo na metodah opisne statistike. Glavni cilj prispevka je prikaz uporabnosti metode GOR v raziskovalne in aplikativne namene, skupaj z vsemi prednostmi in omejitvami, ki jih metoda prinaša. Pri postopku smo uporabljali programsko opremo ArcGIS 9.3, ki ima vključen tudi modul GOR-a. Poleg ArcGIS-a obstaja programski paket GWR 3.x, ki ima na voljo raznovrstnejše uporabniške možnosti.

## 2 Osnovne značilnosti geografsko obtežene regresije

Fotheringham je eden prvih avtorjev, ki je razširil uporabo GOR-a in postavil osnove raziskovanja z omenjeno metodo. Omenja se kot »močno orodje za raziskovanje prostorske heterogenosti« (Charlton in Fotheringham 2009a, 1). Metoda spada med lokalne prostorske statistike, kjer se analizira prostorska raznovrstnost oziroma tam, kjer se vrednost določenih spremenljivk v prostoru pomembno razlikuje (Fotheringham in ostali 2002). Bolj znana je standardna regresija ali globalna regresija, ki z regresijsko enačbo opiše globalna razmerja med neodvisno in odvisnimi spremenljivkami (linearna in multipla regresija). GOR spada med lokalne prostorske regresije, saj se za vsako prostorsko enoto oceni svoja regresijska enačba, ki je obtežena glede na njeno lokacijo (Rogerson 2006).

Običajni **globalni regresijski model** lahko opišemo z enačbo:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i$$

kjer je  $y_i$  ocenjena vrednost odvisne spremenljivke za pojav  $i$ ,  $\beta$  sta parametra, ki ju ocenjujemo,  $x_i$  je vrednost neodvisne spremenljivke,  $\varepsilon_i$  pa standardna napaka ocene. Razmerje med  $y$  in  $x$  naj bi bilo enakomerno razporejeno v celotnem preučevanem območju.

V **lokalnem regresijskem modelu** (GOR) je enačba drugačna, saj GOR ustvari različne regresijske enačbe za vsako prostorsko enoto posebej. Vsaka enačba je obtežena z različno utežjo, ta pa v modelu običajno pada z oddaljenostjo od točke  $i$ . Enačbo lahko zapišemo kot:

$$y_i = \beta_0 (u_i, v_i) + \beta_1 (u_i, v_i)x_i + \varepsilon_i$$

kjer  $u_i$  in  $v_i$  predstavljata koordinati  $i$  točke (Hanham in Spiker 2004). Pomembno je dejstvo, da je koeficient  $\beta$  odvisen od lokacije  $i$  in je zato načeloma za vsako prostorsko enoto drugačen, kar je temeljna razlika od običajne globalne regresije (Rogerston 2006).

Nekoliko zahtevnejše je razumevanje obteževanja, ki poteka v metodi in je odvisno od lokacije posamezne prostorske enote. Običajno velja, da z razdaljo med posameznimi prostorskimi enotami njihov medsebojni vpliv upada. Isto velja tudi za način obteževanje v GOR modelu: vrednosti v okolici točke  $i$  imajo več vpliva na ocenjevanje regresijskih koeficientov kot tiste vrednosti, ki so od točke  $i$  bolj oddaljene (Fortheringham s sodelavci 2002, 108). Obteževanje poteka različno, najpogosteje se uteži določajo kot negativna eksponentna funkcija razdalje na kvadrat:

$$w_{ij} = \exp(-\beta d_{ij}^2)$$

kjer je  $d$  razdalja med  $i$  in  $j$  lokacijo. Nadalje se določi tudi pasovna širina  $\beta$  (angleško *bandwidth*), ki utež  $w$  spreminja tako, da se z večanjem medsebojne oddaljenosti čim hitreje približuje ničli – poenostavljeno to pomeni, da so uteži med bližjimi prostorskimi enotami velike, med bolj oddaljenimi pa zelo majhne ali nične (Mennis 2006, 172). Za določanje vrednosti  $\beta$  se v praksi uporabljajo različne tehnike, na primer AIC vrednost (*akaike information criteria*), ki je vključena tudi v večino programskih paketov za izvajanje GOR.

Rezultat globalnega regresijskega modela je ena enačba za celotno preučevano območje, medtem ko rezultat GOR-a omogoča vpogled v prostorsko zgradbo in omogoča raziskovanje različnosti/podobnosti porazdeljevanja posameznih spremenljivk. Za vsako prostorsko enoto dobimo regresijsko enačbo, zlasti pa so pomembni naslednji rezultati GOR-a:

- napake napovedi ali reziduali,
- lokalne mere povezanosti ( $r^2$  vrednosti),
- statistična pomembnost ( $t$  vrednosti).

Vse vrednosti lahko tolmačimo s pomočjo kartografskega prikazovanja, in tako dobimo vpogled v nove prostorske razsežnosti posameznih spremenljivk, ki bi jih z opisnimi statističnimi metodami lahko spregledali. Končna analiza je torej vizualna, ko s preučevanjem porazdelitve omenjenih treh rezultatov ocenjujemo moč in razmerja med neodvisnimi in odvisnimi spremenljivkami. Na koncu velja opozoriti, da obstaja več različnih izvajanja metode GOR-a. Na tem mestu opisana metoda velja za linearni GOR, v praksi pa se, sicer redkeje, uporabljajo tudi druge različice, ki so odvisne od tipa podatkov (poissonov GOR za deleže, logistični GOR za binarne podatke).

### 3 Postopek uporabe metode na primeru raziskovanja naselbinske strukture ljubljanske urbane regije

#### 3.1 Izbira spremenljivk

Za opis postopka uporabe GOR-a je predstavljen precej enostaven model, s katerim lahko določamo osnovno naselbinsko zgradbo določene regije. Kot pri vsaki statistični analizi je izbira vsebine in oblike spremenljivk v modelu izjemno pomembna. V tem primeru imamo tri spremenljivke:

- število stanovanj v naselju;
- gostoto delovnih mest (razmerje med številom delovnih mest in številom prebivalcev v naselju);
- povprečno dostopnostjo naselja do središča regije (po optimalni cestni povezavi, izraženo v minutah).

S pomočjo zgoraj omenjenih spremenljivk bomo skušali razkriti osnovno naselbinsko zgradbo ljubljanske urbane regije (LUR). Naše teoretsko izhodišče je, da imajo središčna naselja zaradi dobre prometne



dostopnosti in zaposlitvene središčnosti (izražene z gostoto delovnih mest) tudi večje število stanovanj – so torej prostorsko obsežnejša. Suburbanizirana območja imajo gostoto delovnih mest manjšo, kar se vidi iz priložene slike (slika 1), a zaradi pojava dnevne mobilnosti še vedno visoko število stanovanj. Podeželska in ostala naselja imajo nižje gostote delovnih mest in so tudi slabše dostopna kar se izkazuje tudi v nižjem številu stanovanj. V našem primeru je število stanovanj odvisna spremenljivka, ki ju bomo skušali pojasnjevati z obema neodvisnima spremenljivkama.

### 3.2 Osnovna globalna statistika: metoda najmanjših kvadratov

Na začetku je potrebno opraviti določene osnovne statistike, ki so pomembne tudi za vrednotenje GOR-a. Začnemo lahko z računanjem Pearsonovih korelacijskih koeficientov, ki nam kažejo, da so omenjene spremenljivke na globalni ravni dokaj slabo povezane. Z vidika izpeljave GOR-a so takšni rezultati dokaj ugodni, saj izključujejo pojavljanje kolinearnosti ali medsebojne povezanosti obeh neodvisnih spremenljivk.

*Preglednica 1: Pearsonov koeficient korelacije med spremenljivkami (\*korelacija je statistično pomembna pri stopnji 0,01).*

	gostota delovnih mest	število stanovanja	dostopnost
gostota delovnih mest	1	0,03	-0,03
število stanovanja	0,03	1	-0,12*
dostopnost	-0,3	-0,12*	1

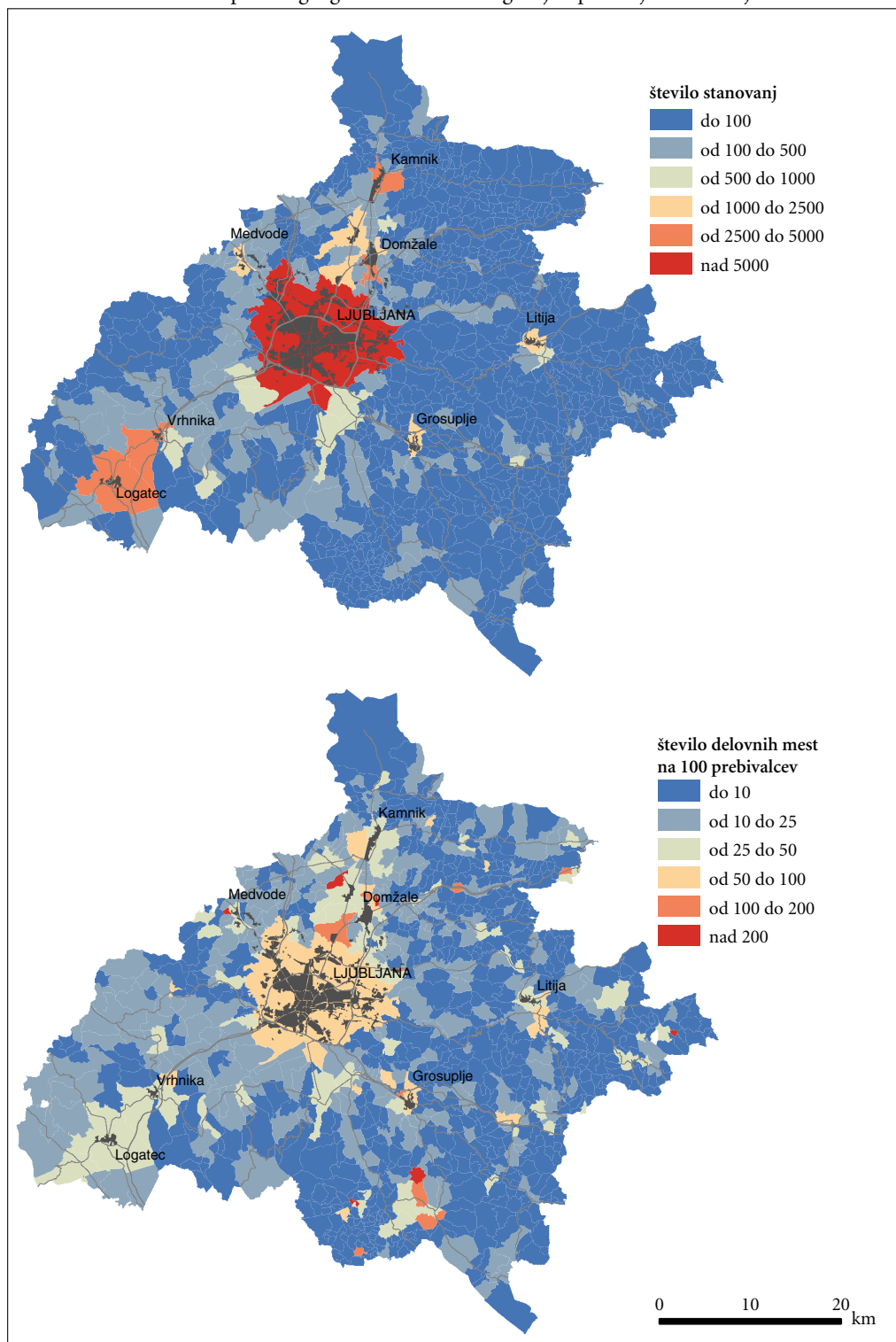
Običajni korak pred izvedbo GOR-a je računanje globalne regresije, torej brez upoštevanja dejanskih lokacij prostorskih enot in brez obteževanja. Metoda najmanjših kvadratov (MNK) je najpogosteje uporabljena regresijska metoda, s katero izračunamo globalno regresijsko enačbo, ki predstavlja razmerja med

*Preglednica 2: Rezultati MNK-ja za LUR.*

diagnostika	vrednost	razlaga
AIC	19448,96	<i>Akaike's Information Criterion</i> : relativna vrednost za primerjavo modelov – manjša vrednost nakazuje boljši model
R2	0,01	delež variance odvisne spremenljivke, ki ga lahko pojasnimo z modelom
AdjR2	0,01	delež variance odvisne spremenljivke, ki ga lahko pojasnimo z modelom, odvisen od kompleksnosti modela
F-Stat	7,71	statistična pomembnost modela
F-Prob	0,00	p-vrednost
Wald	1,33	statistična pomembnost modela
Wald-Prob	0,51	p-vrednost
K(BP)	11,83	test za pojavljanje heteroskedastičnosti v modelu (variance odvisne in neodvisnih spremenljivk so različne)
K(BP)-Prob	0,00	p-vrednost
JB	40501717,64	test za ugotavljanje normalne porazdelitve napak napovedi
JB-Prob	0,00	p-vrednost

*Slika 1: Prikaz razporeditve spremenljivk v modelu. ►*

# Primer uporabe geografsko obtežene regresije s pomočjo GIS orodja

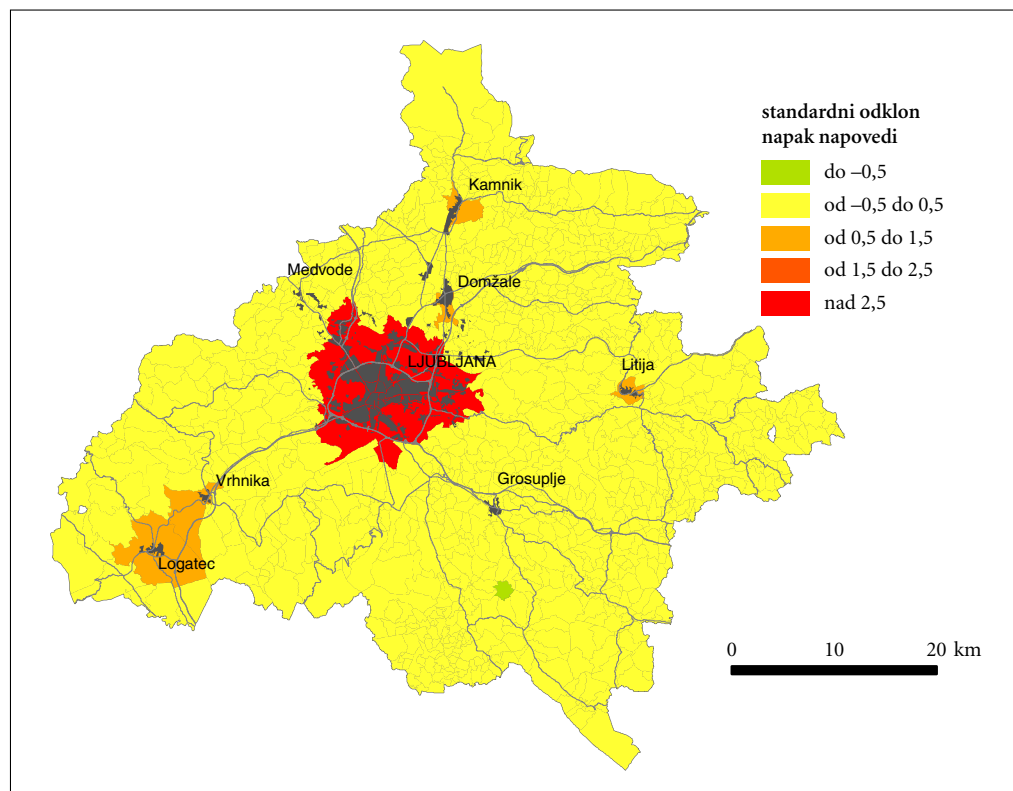


določenimi spremenljivkami. Rezultati MNK-ja v primeru LUR-om nakazujejo, da je stopnja povezanosti na globalni ravni izjemno majhna, saj le 1 % variance števila stanovanj lahko pojasnimo z neodvisnimi spremenljivkami. Ostali testi kažejo (preglednica 2), da gre za zanesljiv model, z izjemo Waldove statistike. A običajno velja, da če sta tako F statistika kot Koenkerjeva statistika (K (BP)) statistično značilni, je celoten model statistično značilen. V preglednici 3 opazimo, da ocenjeni koeficient za gostoto delovnih mest po t-testu ni statistično pomemben. MNK nam na globalni rabi torej pokaže, da je model zelo šibek, da pa izpolnjuje najpomembnejše pogoje uporabe (normalnost razporeditve napak napovedi (rezidualov), statistična pomembnost modela) in da v modelu ni odvečnih spremenljivk (nizka VIF vrednost).

Preglednica 3: Koeficienti za globalno regresijsko enačbo.

	B	standardna napaka	beta	t	značilnost	toleranca	VIF
konstanta	1526,66	376,95		4,05	0,00		
potovalni čas	-40,97	10,83	-0,11	-3,78	0,00	0,99	1,00
gostota delovnih mest	1,74	1,80	0,03	0,96	0,33	0,99	1,00

Z vidika razlage rezultatov je pomembno še kartiranje napak napovedi. Standardizirane vrednosti nad/pod  $\pm 2$  kažejo na nezanesljivo napovedovanje, kar v LUR-u velja zlasti za mestna središča. Eden



Slika 2: Rezultat MNK modela: standardizirane napake napovedi modela.

izmed glavnih problemov pri regresijski analizi je prostorska avtokorelacija – v primeru pojavljanja so rezultati MGK-ja nezanesljivi, zato je potrebno njeno preverjanje (Charlton in Fotheringham 2009a). V ArcGIS-u je vgrajen modul, ki na primeru napak napovedi v LUR-u pokaže, da prostorska avtokorelacija ni prisotna.

### 3.3 Lokalna regresijska statistika: geografsko obtežena regresija

Pri izvedbi GOR-a nam običajna programska oprema (ArcGIS ali GWR 3.x) ponuja več možnosti, ki optimizirajo delovanje metode. Prvo je izbira »jedra« (*kernel*), ki se uporabi za geografsko obteževanje – izbira je običajno med stalnim in prilagodljivim (*fixed in adaptive*). Če so prostorske enote dokaj enakomerno razporejene, je najbolj primerna izbira stalnega jedra, če pa se pojavlja neenakomernost prostorskih enot, je bolj primerna metoda s prilagodljivim jedrom (Charlton in Fotheringham 2009b, 7). V naslednjem koraku izbiramo metodo določanja pasovne širine za obteževanje. ArcGIS nam ponuja tri metode: že omenjeno AICc metodo (splošno soglasje med uporabniki in razvijalci metode je, da je ta najbolj primerna za izvedbo GOR-a (Charlton in Fotheringham 2009a)), CV metodo (navzkrižno preverjanje) in uporabniško določen koeficient pasovne dolžine.

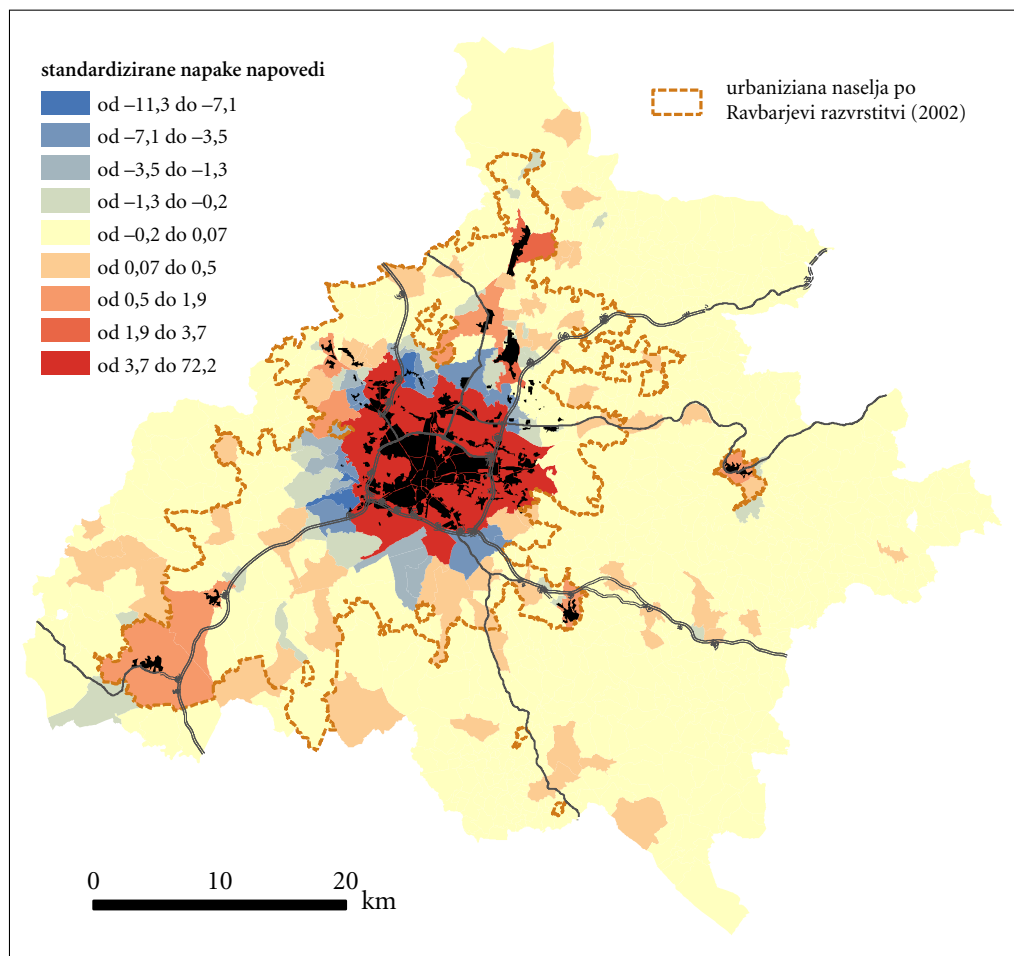
V primeru LUR-a je zaradi neenakomerne razporeditve prostorskih enot izbrano prilagodljivo jedro in AICc pasovna širina. GOR modul v ArcGIS nam ob izvedbi analize ponudi diagnostično statistiko (preglednica 4). Prvi vrstica (*neighbours*) prikazuje število sosednjih enot vključenih v iskanje lokalnega koeficienta – to pomeni, da je obteževanje potekalo med 94 najbližjimi prostorskimi enotami za vsako prostorsko enoto posebej. Pomembna je AICc vrednost, ki je bila v globalnem modelu za skoraj 200 višja (19448 v lokalnem pa 17220,78), kar nakazuje precejšnjo izboljšavo modela. Kot pravilo velja, da izboljšava za več kot 3 enote nakazuje večvrednost lokalnega regresijskega modela nad globalnim (medmrežje 1, 2010). Da je lokalni regresijski model močno izboljššan, nakazuje tudi stopnja ujemanja ( $r^2$ ), ki je v GOR-u močno povečana (iz 0,01 v MNK-ju na 0,90 v GOR-u). To pomeni, da ob upoštevanju lokacije prostorskih enot lahko pojasnimo kar 90 % variance odvisne spremenljivke z neodvisnima spremenljivkama. Diagnostika potrjuje, da je uporaba GOR-a v tem primeru smiselna, saj pojasnjuje določene značilnosti, ki so v običajnem globalnem regresijskem modelu očitno spregledane.

Preglednica 4: Pomembnejše vrednosti diagnostične statistike GOR.

<i>neighbours</i>	94
<i>aicc</i>	17220,78
$r^2$	0,90
$r^2_{adjusted}$	0,89

Najpomembnejši del je kartografska analiza rezultatov GOR-a. Običajno najprej kartiramo standardizirane vrednosti napak napovedi (slika 3). V primeru LUR-a smo izbrali kartografski prikaz na podlagi devetih razredov, določenih tako, da so si razredi medsebojno čim bolj različni, vrednosti znotraj razreda pa čim bolj podobne (t. i. jenksova metoda). Napake napovedi so pozitivne v mestnih naseljih, izrazito negativne pa v najožjem vencu okoli Ljubljane in tudi drugih mest LUR-a. Očitno gre za ožji suburbaniziran venec naselij okoli mest, kjer je odvisna spremenljivka (število stanovanj) podcenjeno. Takšen rezultat je dokaj pričakovan in kaže na osnovno zgradbo LUR-a: mesta z pozitivnimi reziduali, suburbanizirana obmestja pa z negativnimi. GOR v tem primeru z zelo omenjenim zbirom spremenljivk pogojno pritrudi Ravbarjevi tezi (1992), da imajo zaradi značilne urbanizacije v Sloveniji celo najmanjša mestna naselja lastno suburbanizirano zaledje.

Nadalje lahko kartiramo tudi lokalni  $r^2$  koeficient. Na sliki je vidno, da se spreminja, in da je v določenih predelih model dokaj šibak (nižje vrednosti  $r^2$ ). Območje okoli Domžal in Kamnika ima  $r^2$  vrednosti



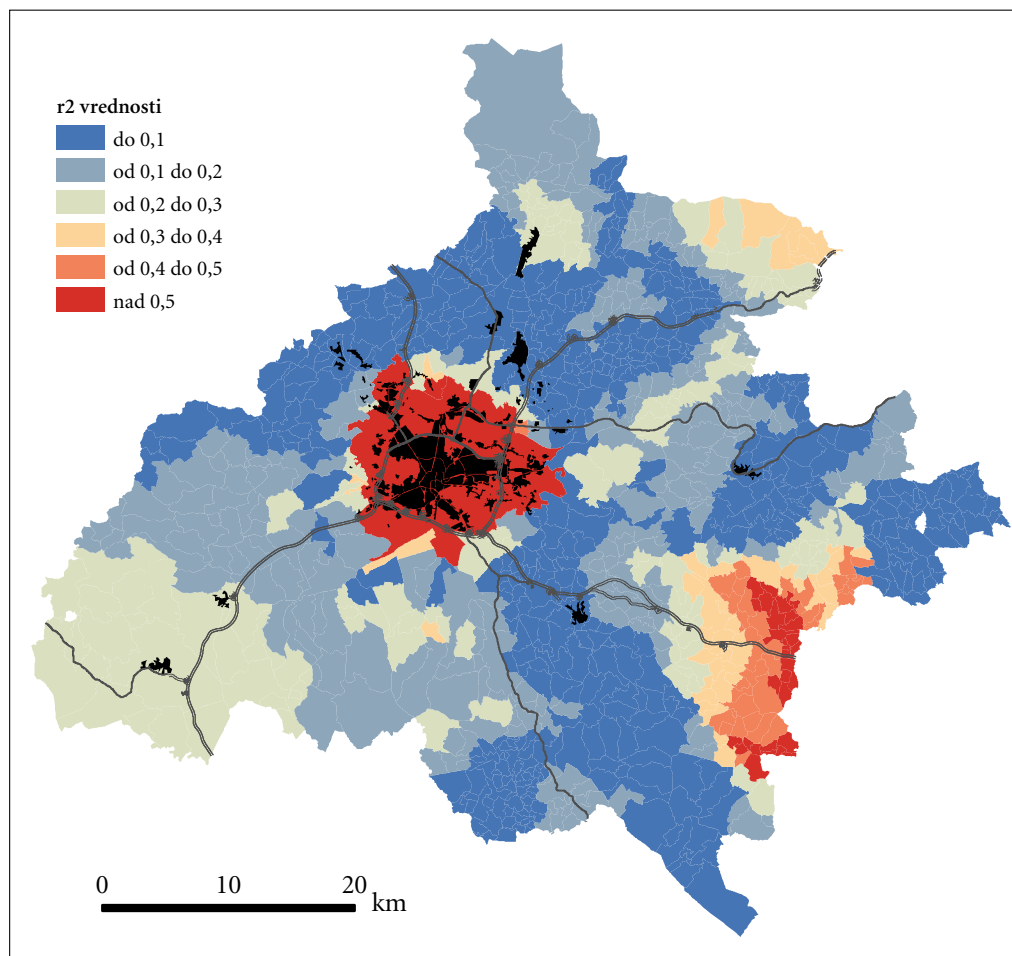
Slika 3: Rezultat GOR modela: standardizirane napake napovedi (reziduali) in naselbinske zgradbe LUR-a na podlagi metod opisne statistike Ravbarja (2002).

tako nizke, da lahko sklepamo, da odvisno spremenljivko najbrž pojasnjujejo druge neodvisne spremenljivke, ki v model niso bile vključene.

ArcGIS omogoča kartiranje tudi drugih vrednosti GOR-a, ki nam še nadalje prikazujejo prostorsko heterogenost, zlasti pogojne vrednosti, kjer lahko preverjamo pojavljanje lokalne kolinearnosti in standardne napake posameznih koeficientov. Da so rezultati zanesljivi moramo tudi v primeru GOR analize izvesti teste prostorske avtokorelacije – ti so bili v primeru LUR-a zadovoljivi, torej prostorska avtokorelacija ni bila prisotna.

## 4 Sklep

Prednost GOR-a v primerjavi z globalno regresijo je ta, da GOR lahko razkrije povezave med spremenljivkami s prostorskega vidika – v primeru globalne regresije bi bile te lokalne ali območne povezave



Slika 4: Rezultat GOR modela: lokalno porazdeljevanje  $r^2$  vrednosti.

spregledane, saj le-ta predvideva, da so razmerja enakomerno razporejena prek celotnega prostora. V našem primeru, ob upoštevanju lokalnih prostorskih zakonitosti, je delež pojasnjene variance odvisne spremenljivke ( $r^2$ ) porasel z 0,01 na 0,90! Metoda je primerna tudi za ugotavljanje manjkajočih podatkov – v našem primeru lahko sklepamo, da na določenem območju LUR-a manjkajo spremenljivke, ki bi pojasnjevale odvisno spremenljivko (nizke lokalne  $r^2$  vrednosti).

Hkrati pa obstajajo tudi resne omejitve, ki izhajajo iz same izpeljave GOR-a. Interpretacija rezultatov je precej zapletena in ob njej moramo upoštevati številne rezultate tako globalnih kot lokalnih statistik (porazdeljevanje rezidualov,  $r^2$  vrednosti, standardnih napak ...). Metodo omejujejo tudi pojavi prostorske avtokorelacije, kolinearnosti in homoskedastičnosti, ki so pogoji tudi za globalne statistike. Pomemben je tudi problem izbire neprimerljivih prostorskih enot ali ekološke napake, ki se ga v prostorskih vedah morda premalo zavedamo (Krevs 1998). Drugi avtorji pa tudi opozarjajo, da je GOR v nekaterih primerih manj zanesljiva od običajne globalne regresije (Jetz s sodelavci 2005).

Ob upoštevanju vseh prednosti in omejitev pa je GOR metoda, ki je lahko »dopolnilna« običajnim opisnim statističnim analizam pri raziskovanju geografske heterogenosti. Trenutno je uporaba metode

omejena na vede, ki v osnovi niso prostorske, na primer ekonomijo in zdravstvo. Redkeje se uporablja v klasično prostorskih vedah: na zadnje pri raziskovanju policentrične urbane zgradbe (Cladera in ostali 2009), geografiji zdravja (Mendal in ostali 2009), pa tudi pri raziskovanju naravnih nesreč, ekologiji, satelitskem zaznavanju (Hanham in Spiker 2004) in drugje. Z vključitvijo v pogosto uporabljeno GIS programsko opremo bo uporaba metode najbrž naraščala, zato je primerno, da se v strokovnih krogih še temeljiteje predstavijo vse njene koristi in slabosti.

## 5 Viri in literatura

- Charlton, M., Fotheringham, A. S. 2009a: Geographically Weighted Regression: A Tutorial on Using GWR in ArcGIS 9.3.
- Charlton, M., Fotheringham, A. S. 2009b: Geographically Weighted Regression: White Paper. Maynooth.
- Cladera, J. R., Duarte, C. R. M., Moix, M. 2009: Urban structure and polycentrism: towards a redefinition of the sub-centre concept. *Urban Studies* 46-13. Glasgow.
- Fotheringham, A. S., Brundson, C., Charlton, M. 2002: Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships. Hoboken.
- Hanham, R., Spiker, J. S. 2004: Urban sprawl detection using satellite imagery and geographically weighted regression. *Geo-Spatial Technologies in Urban Environments*. Heidelberg.
- Jetz, W., Rahbek, C., Lichstein, J. W. 2005: Local and global approaches to spatial data analysis in ecology. *Global Ecology and Biogeography* 14. Hoboken.
- Krevs, M. 1998: Vpliv izbora prostorske enote na rezultate geografskih statističnih analiz. *Geografski vestnik* 70. Ljubljana
- Lloyd, C. D. 2007: Local models for spatial analysis. Newark.
- Mandal, R., St-Hillaire, S., Kie, J., Derryberry D. 2009: Spatial trends of breast and prostate cancers in the United States between 2000 and 2005. *International Journal of Health Geographics* 8. London.
- Medmrežje 1: [http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Interpreting\\_GWR\\_results](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Interpreting_GWR_results) (10. 2. 2010).
- Mennis, J. 2006: Mapping the results of geographically weighted regression. *The Cartographic Journal* 43-2. London.
- Ravbar, M. 1992: Suburbanizacija v Sloveniji – odnosi, strukture in težnje v njenem razvoju. Doktorsko delo. Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo. Ljubljana.
- Ravbar, M. 2002: Sodobne težnje v razvoju prebivalstva in delovnih mest – pot k sonaravnemu in decentraliziranemu usmerjanju poselitve v Sloveniji? *IB revija* 2002-1. Ljubljana.
- Rogerson, P. A. 2006: *Statistical Methods for Geography. A Students Guide*. London.

## UPORABA MEDMREŽNEGA GIS SISTEMA ZA E-PARTICIPACIJO

**Igor Bizjak**

Urbanistični inštitut Republike Slovenije

igor.bizjak@uir.si

UDK: 004.738.5

659.2:004:91

IZVLEČEK

### **Uporaba medmrežnega GIS sistema za e-participacijo**

V prispevku bo predstavljena nadgradnja odprtokodnega GIS sistema MapServer za potrebe participacije uporabnikov spletnega portala s pomočjo PHP in java skriptnih jezikov. Participativni GIS sistem je del spletnega portala, ki je narejen za potrebe naloge, ki ugotavlja navade in poti, ki jih prevozijo kolesarji v mestni občini Ljubljana.

KLJUČNE BESEDE

e-participacija, GIS, MapServer, Web 2.0

ABSTRACT

### **Use of Internet GIS system for E-Participation**

The paper addresses eParticipation as a tool for tracing cyclists on their routes in Ljubljana, the capital of Slovenia. The participating tool is made from Web Geographic Information System (WGIS) MapServer with the help of PHP and javascript languages. The paper presents and discusses the technologies used in the ongoing research Information technology, urban mobility and improvement of quality of life: State of the art and needs regarding cycling in Ljubljana using GIS.

KEY WORDS

E-Participation, WGIS – web geographic information system, MapServer, Web 2.0



## 1 Uvod

Urbanistični inštitut je pridobil raziskovalno nalogo z naslovom »Informacijska tehnologija, urbana mobilnost in izboljšanje kakovosti življenja: Z GSM-i do analiz stanja in potreb kolesarstva v Ljubljani«. Raziskovalno nalogo je razpisala Služba za razvojne projekte in investicije pri Mestni občini Ljubljana (Goličnik s sodelavci 2009).

Namen projekta je bil poiskati pristope za ugotavljanje stanja in potreb kot tudi problemov in priložnosti za kolesarjenje kot obliko transporta in/ali obliko rekreacije v Ljubljani. Cilji, ki iz tega sledijo, so bili naslednji:

- poiskati učinkovit način zbiranja podatkov, ki kar se da odraža dejansko stanje in omogoča dolgoročno spremljanje kolesarjev in njihovih navad,
- pri zbiranju podatkov vključiti zainteresirano javnost,
- zbrati in obdelati konkretne podatke tako, da so uporabni kot podpora za uresničevanje in usmerjanje strateških ciljev in usmeritev MOL-a.

Hipoteza, ki je bila pri tem uporabljena je, da je s pomočjo GPS naprav in s pomočjo spletne strani, v katero je vključen GIS sistem in omogoča participacijo, priti do zadovoljivih podatkov, kar bi pomenilo, da se lahko tak sistem uporabi tudi v drugih podobnih primerih zbiranja podatkov.

## 2 Pregled relevantne literature in metod

Javnost lahko sodeluje na več načinov. Delimo jih na dva dela, kjer javnost lahko samo spremlja, je obveščena ali se strinja oziroma se ne strinja s projektom in drugi način, v katerem javnost aktivno sodeluje s svojimi predlogi, vprašanji in glasovi za ali proti, ki so enakovredni glasovom pripravljalcev projekta (Laurini 2005). Pri aktivnem sodelovanju javnosti je potrebno razlikovati med dejavnim sodelovanjem udeležencev in med hiperdejavnim sodelovanjem, kamor spadajo udeleženci, ki s svojim pretiranim zagovarjanjem po principu, ki je v angleščini poznan kot *not in my backyard*, pri nas pa bi lahko rekli »dokler mene ne boli« ali pa »dokler je na sosedovem vrtu«. Taki udeleženci velikokrat s pretiranim zagovarjanjem določenih stališč, ki so naravnana zelo zaščitniško do lastnih interesov, konstruktivno debato ali proces planiranja, preplavijo z množico za sam proces participacije, nesmiselnih predlogov in ugovorov.

Primer javne participacije na lokalnem nivoju s preprostim GIS sistemom je opisal Carver s sodelavci (2001). V tem primeru je bil na internetni strani na voljo preprost GIS sistem, ki je vseboval podroben zemljevid okolice kraja in obiskovalcem internetne strani je bilo na voljo orodje s pomočjo katerega so na zemljevidu zabeležili točko kraja pobude, vprašanja, dogodka in ga opisali. V času trajanja participacije ni bil možen vpogled v zabeležke drugih obiskovalcev internetne strani zaradi objektivnosti zabeležk. Po koncu akcije so bile vidne vse zabeležke, ni pa bilo več možno vnesti zabeležk.

Javna participacija je možna tudi z uporabo interaktivnih kart (Kingston 2007). Primer jasno prikaže, kako lahko javnost uporablja medmrežni GIS sistem za javljanje težav na območju lokalne skupnosti. Do uvedbe sistema v angleškem mestu Manchester je moral občan, če je hotel javiti o npr. zapuščenem avtomobilu ali pokvarjeni cestno svetilki, poklicati pristojno mestno službo, opisati lokacijo, kjer je dogodek nastal. V nadaljevanju je bilo največkrat potrebno to storiti še pisno, kar je pomenilo veliko izgubo časa, telefonskih klicev, preverjanja ipd. Zato je mesto uvedlo GIS sistem z interaktivno karto mesta, kjer lahko občan poišče lokacijo dogodka, opiše dogodek, ki se zapiše v bazo in tako je trenutno na voljo pristojnim službam, ki lahko brez nepotrebne časovnega zamika takoj ukrepajo.

Primer javne participacije je tudi pripravljen medmrežni interaktivni GIS sistem za izbor lokacije za odlagališče nizko in srednje radioaktivnih odpadkov v Sloveniji (Golobič in Bizjak 2004). V ta namen je bila narejena spletna stran, ki je omogočala uporabnikom dva načina modeliranja: preverjanje izbrane lokacije in vrednotenje prostora po izbranih merilih. V prvem načinu je uporabnik lahko izbral lokacijo

v prostoru Slovenije in na podlagi izbranih plasti pridobil informacijo o možnosti uporabe lokacije za odlagališče. Uporabnik je lahko na podlagi pridobljenih informacij presodil ali je lokacija primerna za odlagališče. Drugi način pa je temeljil na večkriterijskem vrednotenju ustreznosti prostora z uporabo prostorskih podatkov, ki so bili izbrani na podlagi kombinacije, ki jo je določil uporabnik sam. Model je tako omogočil uporabniku, da je iz stalnega nabora meril izbral tista, ki so po njegovem mnenju vplivala in bila primerna za ustreznost lokacije za odlagališče. Uporabnik je lahko tudi dodal svoje mnenje in pobude.

### 3 Izdelava GIS portala

Za potrebe naloge je bilo treba evidentirati zadovoljiv vzorec kolesarskih poti oziroma gibanja kolesarjev v prostoru. Evidentiranje je potekalo na dva načina. Z uporabo GPS sprejemnikov, ki omogočajo zapisovanje poti, ki jo je sprejemnik opravil v določenem času, in kot drugi način z ročnim vnosom poti v GIS aplikacijo.

Pri ročnem načinu vnosa poti pomaga elektronska karta področja, po katerem se giblje kolesar, ki jo kot podlogo pripravimo v aplikaciji. GIS aplikacija lahko deluje na osebнем računalniku ali na medmrežnem strežniku v medmrežju. Pri tem so prednosti medmrežne GIS aplikacije naslednje:

- medmrežne GIS aplikacije so dosegljive vsem, ki imajo dostop do medmrežja,
- pravilno zasnovane jih lahko uporabljajo tudi neveščji uporabniki,
- veliko več ljudi lahko vnese podatke o opravljeni poti,
- so cenovno bolj ugodne.

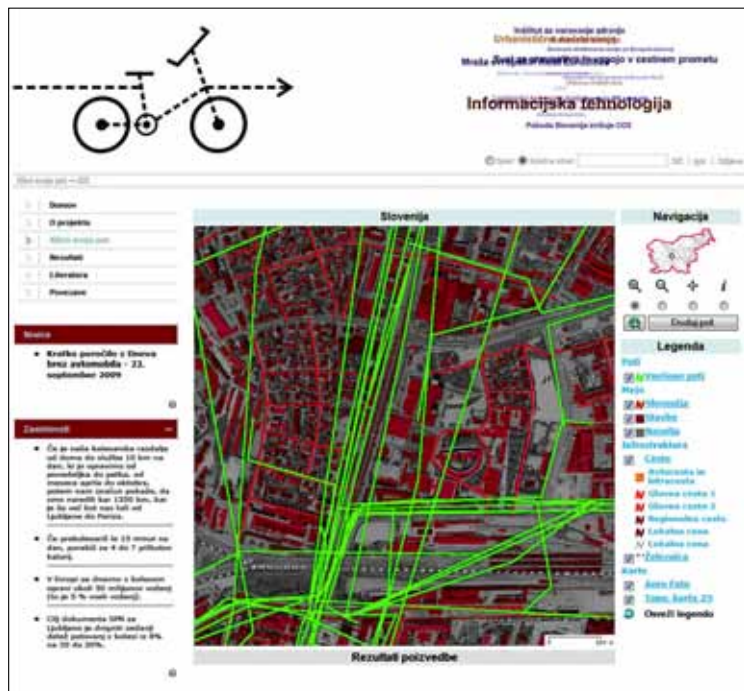
Medmrežni GIS sistemi morajo zadostiti pogoju večuporabnosti, da lahko sistem uporablja več uporabnikov hkrati in delovanju v medmrežju, kjer se osnovne bazične funkcije sistema, kot so baza podatkov, programska logika in prikaz rezultatov prenašajo med strežnikom in odjemalcem (Peng in Tsou 2003). Medmrežne GIS sisteme lahko razdelimo na sisteme, ki tečejo na strani strežnika (*server-side*), na strani odjemalca (*client-side*) in mešane sisteme. Pri sistemih, ki tečejo na strani strežnika, odjemalec prek HTML obrazca sporoči strežniku zahtevo po podatkih, na strežniški strani se podatki pripravijo in v obliki slike pošljejo nazaj odjemalcu. Ti sistemi so tudi najdlje na voljo uporabnikom, saj so se v literaturi pojavili že leta 1996. Pri mešanih sistemih večjo vlogo na odjemalčevi strani prevzamejo posredovani javanski programčki (*Java applet*), ki omogočajo večjo interaktivnost s strani uporabnikov sistema. Taki sistemi so primerni za participacijo s strani uporabnikov v obliki diskusij. V zadnji kategoriji, sistemov *client-side*, je glavni program na odjemalčevi strani. Ta opravi vse analize in modeliranje, na strani strežnika pa je samo baza podatkov, do katere dostopa odjemalec (Šumrada 2001; Rinner 2003).

Vnos podatkov o kolesarskih poteh prek medmrežja je neke vrste javna participacija. In če je na eni strani javna participacija, ki omogoča javnosti, da lahko sodeluje v procesu neke raziskave, in na drugi strani medmrežni GIS, ki omogoča prikaz procesa, potrebujemo še orodja, ki bodo omogočila javnosti, da bo lahko vključena v raziskavo. V medmrežju imajo uporabniki in ponudniki informacij vsak svojo vlogo. Ponudnik prek medmrežja objavi informacije, ki jih uporabnik uporabi. Taka komunikacija je enosmerna, poteka od ponudnika proti uporabniku. V zadnjih nekaj letih se je ta komunikacija spremenila. S pojavom možnosti, kot so forumi, blogi, novičarske skupine in klepetalnice, ki so jih ponudniki omogočili obiskovalcem njihovih medmrežnih strani, se je tudi komunikacija začela odvijati v obe smeri (Best 2006). Participacija uporabnikov je eden izmed ključnih elementov, ki opredeljuje medmrežje 2.0 (Web 2.0). Medmrežje 2.0 je koncept in nima nekih ostrih robov, temveč raje gravitacijsko območje, ki združuje med seboj medmrežne strani, ki uporabljajo skupek principov in praks (O'Reilly 2005). Med principe in prakse se uvrščajo participacija uporabnikov, bogata uporabniška izkušnja, dinamične vsebine medmrežnih strani, metapodatki in skalabilnost (Best 2006). Uporabniki medmrežja 2.0 so vsi, ki že sedaj uporabljajo medmrežje, le da imajo sedaj še možnost aktivnega sodelovanja pri proučevanju vsebin in ne samo pri dostopanju do njih. Servisi medmrežja 2.0 omogočajo uporabniku, da si pridobi občutek pripadnosti in razpoznavnosti (Högg s sodelavci 2006).

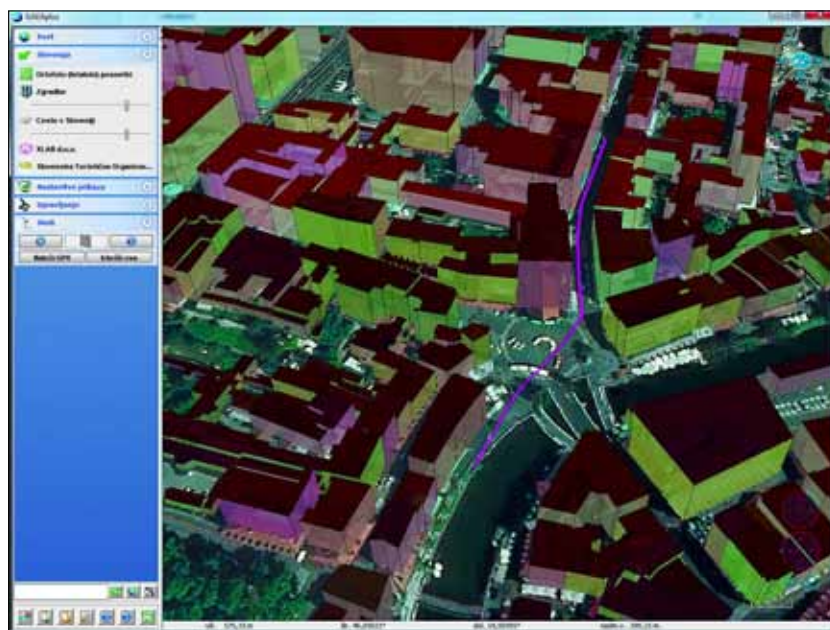
The screenshot shows the homepage of the website *kolo.uirs.si*. At the top, there is a logo of a bicycle and navigation links for 'Kakovost življenja', 'Meduveri.net - Zasad za izboljšanje kvalitete življenja', and 'Urbana mobilnost'. Below the navigation is a search bar and a main image of a cyclist on a road. To the left of the image is a navigation menu with options like 'Domov', 'O projektu', 'Kaj so naši cilji', 'Rezultati', 'Literatura', and 'Prejemanje'. Below the menu is a section titled 'Novice' with a news item about a traffic accident. To the right of the image is a section titled 'KLIMNI SWOJO POT' with a blue dashed line on the road. Below this is a survey form with the title 'Izpolni anketo' and several questions about bicycle usage and preferences. At the bottom, there are logos for various organizations including 'Inštitut za trajnostno gradnjo' and 'XLAB'.

Slika 1: Vstopna stran portala *kolo.uirs.si*.

Med ključne ideje, ki so izšle iz koncepta medmrežja 2.0, je dodajanje podatkov na medmrežno stran s strani uporabnikov in s tem sooblikovanje strani. Na ta način lastniki strani pridobijo podatke o uporabnikih, njihova vedenja ter znanja, ki jih lahko uporabijo za razne namene (Anderson 2007). Pri tem se proces participacije pojavi, če se skozi normalno uporabo aplikacije ali medmrežnega servisa le-ta razvije in postane boljši. Lep primer za to je servis BitTorrent, ki je bolj uporaben, če ga uporablja več ljudi (O'Reilly 2005). Pogoj za razvoj medmrežja 2.0 je tudi razvoj nove generacije medmrežnih tehnologij in standardov. K temu je največ pripomogla uporaba skupine tehnologij z imenom Ajax (Asynchronous Javascript + XML) (Anderson 2007).



Slika 2: Del portala, kjer je možen vnos kolesarske poti.



Slika 3: 3D vmesnik za vnos kolesarskih poti.

Medmrežni portal (kolo.uirs.si) omogoča uporabnikom, da prek GIS sistema vnesejo poti, ki jih dnevno opravljajo s kolesom. V ta namen je bil portalu dodan odprtokodni GIS sistem *MapServer*, kateremu je bilo s pomočjo skriptnih jezikov PHP ter Java dodana možnost zapisovanja poti nazaj v bazo. Portalu je dodana tudi možnost vnosa poti prek 3D vmesnika, ki pa je bil narejen v Java jeziku in deluje na strani klienta. Uporabnik mora v ta namen namestiti prosto dostopne javanske knjižnice in namestiti 3D pregledovalnik na svoj računalnik. Sam portal je zasnovan na *Content Management System* (CMS) Dotnetnuke, ki je odprtokodni sistem za urejanje spletnih strani, ki deluje na Microsoftovi platformi *Internet Information Server* (IIS). Modularna zasnova CMS sistema omogoča vzpostavitev tudi drugih participativnih orodij, kot so forumi, blogi, ankete ipd.

Portal je bil prvič javno predstavljen v juniju 2009. Do januarja 2010 je portal obiskalo 11.288 obiskovalcev, od tega se jih je 550 registriralo za vnašanje kolesarskih poti, poti pa je vneslo 315 uporabnikov. Pred vnosom kolesarske poti morajo obiskovalci izpolniti anketo, ki služi opisu vnesene poti in opisu kolesarja (starost, spol, status ter namen poti).

## 4 Ugotovitve

Skozi proces dela se je pokazalo, da je z GIS-om podprte informacije mogoče zbirati prek medmrežja in da je medmrežje tudi ustrezen in vse pogostejše uspešen medij za komuniciranje z javnostjo.

Interaktivni GIS portal za zbiranje informacij je sodobno orodje, ki uporabnikom omogoča vnos lastnih kolesarskih poti in z njimi povezanih podatkov (vrsta oziroma namen poti, starost oziroma status uporabnika ipd.). Po svoji vsebini ni le interaktivni zemljevid, temveč tudi participativno orodje, saj ga meščani lahko prostovoljno uporabljajo in na njem poleg prevoženih poti odgovarjajo na izbrana anketna vprašanja in se podrobneje informirajo o različnih relevantnih temah. V omenjeni raziskavi je bil GIS portal lansiran poskusno. Rezultati so pokazali, da je pristop pravi, saj je bilo na podlagi zbranih pilotnih podatkov mogoče podati zanimive relevantne prikaze in komentarje tako na rabo in uporabnike same kot tudi na planske in razvojne ideje mesta z vidika kolesarstva. Dejstvo je, da je v tej začetni fazi bilo preverjenih nekaj osnovnih funkcij portala in da so bili nekateri koraki uporabe še okorni.

Portal ni uporaben le za kolesarje. Lahko ga uporabljajo tudi pešci in pohodniki. Dejanski doprinos portala je pravzaprav dolgoročen. Podatki o dejansko opravljenih poteh imajo veliko vrednost pri odločanju o investiranju v mestno kolesarsko infrastrukturo v primeru, da je cilj takega urejanja servisiranje dejanskih potreb uporabnikov ob optimalnih investicijskih vložkih. Tako zbrani podatki načrtovalca oziroma odločevalca v prvi vrsti informirajo o zelo konkretnih prostorskih potrebah (izboljšava infrastrukture), hkrati pa mu s kvalitativnimi podatki, ki so na voljo za vsako od opravljenih poti omogočajo globlje razumevanje celotne problematike (npr. strukturo uporabnikov po starosti, spolu, namenu potovanja), s čimer konkretne prostorske ureditve lahko prilagodi potrebam konkretnih uporabnikov.

## 5 Viri in literatura

- Anderson, P. 2007: What is Web 2.0? Ideas, technologies and implications for education. Technology & Standards Watch. Medmrežje: <http://www.jisc.ac.uk/media/documents/techwatch/tsw0701b.pdf>. (1. 2. 2009).
- Best, D. 2006: Next Big Thing or Next Big Internet Bubble? Lecture Web Information System Technische Universiteit Eindhoven. Medmrežje: <http://page.mi.fuberlin.de/ebest/uni/WIS/Web2.pdf>. (11. 1. 2009).
- Carver, S., Evans, A., Kingston, R., Turton, I. 2001: Public participation, GIS, and cyberdemocracy: evaluating on-line spatial decision support systems. Environment and Planning B, Planning and Design 28. London.

- Goličnik, B., Tominc, B., Nikšič, M., Bizjak, I., Mladenovič, L. 2009: Informacijska tehnologija, urbana mobilnost in izboljšanje kakovosti življenja: Z GSM-i do analiz stanja in potreb kolesarstva v Ljubljani. Končno poročilo. Urbanistični inštitut Republike Slovenije. Ljubljana.
- Golobič, M., Bizjak, I. 2004: Interaktivni model izbora lokacije za odlagališče nizko in srednje radioaktivnih odpadkov (NSRAO). Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2003–2004. Ljubljana.
- Högg, R., Meckel, M., Stanoevska-Slabeva, K., Martignoni, R. 2006: Overview of business models for Web 2.0 communities. Proceedings of GeNeMe 2006, 2006. GeNeMe 2006. Dresden. Medmrežje: <http://www.alexandria.unisg.ch/Publikationen/31411> (21. 5. 2009).
- Kingston, R. 2007: Public Participation in Local Policy Decision-making: The Role of Web-based Mapping. The Cartographic Journal 44-2. London.
- Laurini, R. 2005: Computer Systems for Public Participation. Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes d'Information, University of Lyon, Pict eConference. Medmrežje: <http://econference.pict.hu/papers/15/articololaurini.pdf> (23. 5. 2009).
- O'Reilly, T. 2005: What Is Web 2.0. Medmrežje: <http://www.oreilly.de/artikel/web20.html> (21. 5. 2009).
- Peng, Z. R., Tsou, M. H. 2003: Internet GIS: Distributed Geographic Information Services for the Internet and Wireless Networks. Hoboken.
- Rinner, C. 2003: Web-based Spatial Decision Support: Status and Research Directions. Journal of Geographic Information and Decision Analysis 7-1.
- Šumrada, R. 2001: Prehod od osrednje k porazdeljeni uporabi tehnologije GIS-ov. Geodetski vestnik 45-4. Ljubljana.



## SLOVENIJA V PROJEKTU EUROREGIONALMAP

**Anita Ipsa**

Geodetski inštitut Slovenije

anita.ipsa@gis.si

UDK: 004.65:528.93(497.4)

### IZVLEČEK

#### **Slovenija v projektu EuroRegionalMap**

*EuroRegionalMap (ERM) je evropska topografska podatkovna baza na ravni srednjega merila 1 : 250.000, ki pokriva pretežni del Evrope. ERM je vektorski izdelek, ki služi za podporo GIS aplikacijam in kot kartografska podlaga. Pri izdelavi baze ERM sodelujejo geodetske in kartografske uprave posameznih držav tako, da na osnovi svojih uradnih državnih topografskih podatkov pripravijo podatke za območje svoje države v skladu s specifikacijami in priporočili tehnične skupine projekta. Podatki posameznih držav so medsebojno geometrijsko in atributno usklajeni na državnih mejah (brezšivnost) in harmonizirani glede na vsebino in gostoto prikaza. Namen članka je predstavitev vsebine in strukture baze ERM, ter procesa priprave in zagotavljanja kakovosti podatkov za Slovenijo.*

### KLJUČNE BESEDE

*EuroRegionalMap, topografska baza, kartografska baza, srednje merilo, Evropa, Slovenija, evropski projekt*

### ABSTRACT

#### **Slovenia in the project EuroRegionalMap**

*EuroRegionalMap (ERM) is a European topographic database at scale 1 : 250.000, which covers most of the Europe. ERM is a vector product, which serves to support GIS applications and as a map backdrop. The production of ERM database is based on the contribution of National Mapping and Cadastral Agencies. They prepare data for their own countries on the basis of their official national topographic data and in accordance with the specifications and recommendations of the technical team. Data from individual countries are consistent in geometry and attributes at national borders (seamless) and harmonized in terms of content and portrayal density. The purpose of the article is the presentation of the content and structure of the ERM database and production process and quality assurance of Slovenian ERM data.*

### KEY WORDS

*EuroRegionalMap, topographic database, cartographic database, medium scale, Europe, Slovenia, European project*



## 1 Uvod

Namen projekta *EuroRegionalMap* (ERM) je izdelava evropske vektorske topografske podatkovne baze v merilu 1 : 250.000, ki služi na evropski ravni kot referenčna baza srednjega merila za izvedbo prostorskih analiz in kot kartografska podlaga predstavitev. (EuroGeographics 2009, 8). ERM je zasnovana na že obstoječih uradnih topografskih bazah posameznih držav (EuroGeographics 2009, 10), ki so po temeljiti obdelavi in medsebojnem usklajevanju pripravljene v skladu s skupnimi standardi ERM in nato združene v skupno, enotno, harmonizirano, brezšivno topografsko bazo za celotno Evropo.

Baza ERM je zasnovana tako, da v največji možni meri ustreza zahtevam uporabnikov in omogoča vsestranske prostorske analize. Vzdrževanje in redna obnova baze ter spremembe in dopolnila v specifikacijah ERM-ja so v veliki meri usklajena tudi z zahtevami in pričakovanji glavnega uporabnika in naročnika baze ERM, evropskega statističnega urada EUROSTAT znotraj Evropske komisije ter drugih uporabnikov (Pammer in sodelavci 2009, 20–22).

## 2 Opis EuroRegionalMap

Podatkovno bazo ERM definirajo specifikacije, podatkovni model, tehnična navodila in podatkovne predloge.

Celotna vsebina ERM-ja je razdeljena v 7 glavnih tematskih sklopov ali slojev (EuroGeographics 2009, 15):

- upravne enote in meje,
- hidrografija,
- prometno omrežje,
- naselja,
- rastje in tla,
- imena,
- raznovrstni podatki (gradovi, daljnovodi, stolpi, cerkve itd.).

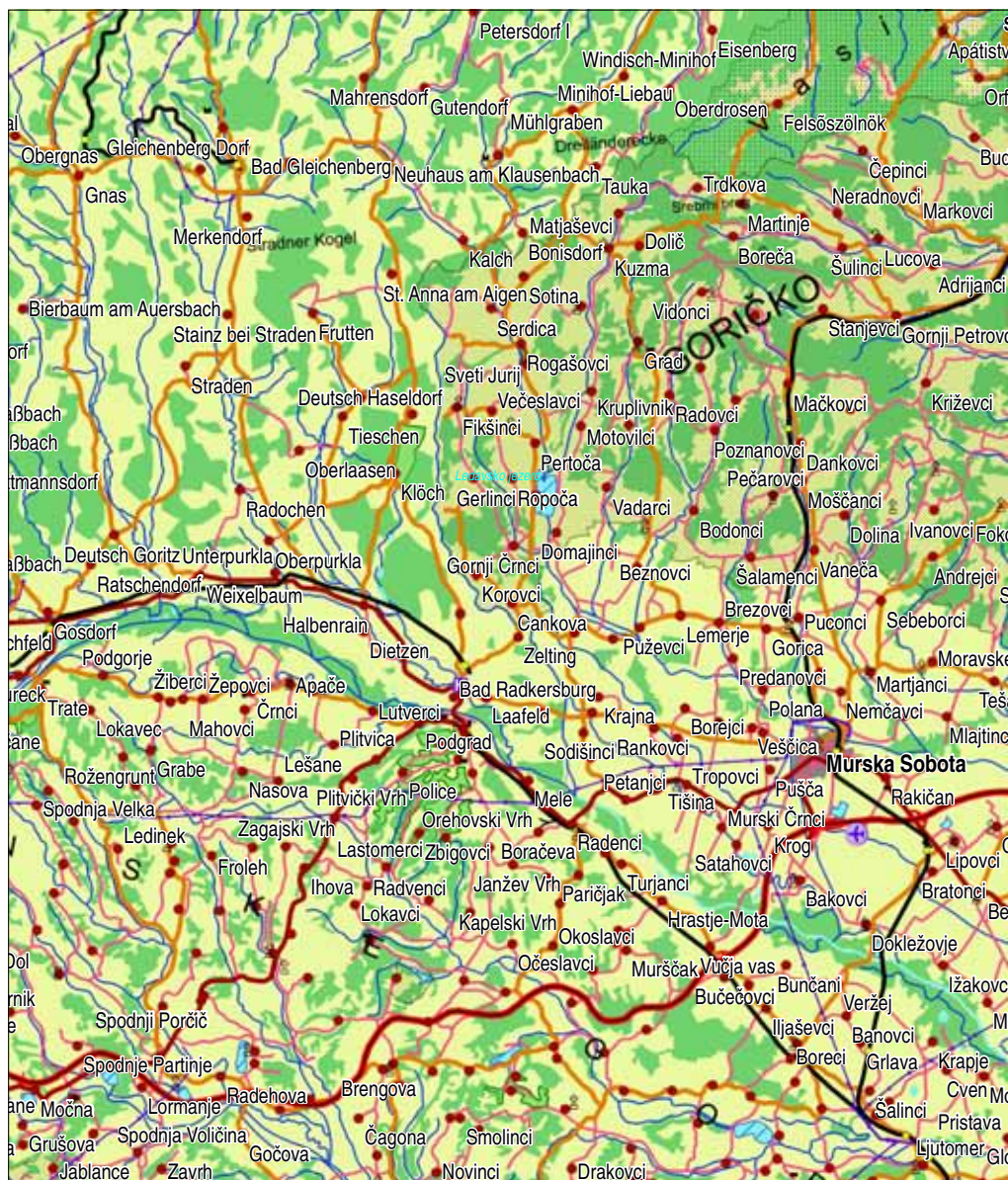
Znotraj vsakega sklopa so določeni posamezni objektni razredi, ki predstavljajo objekt ali pojav enega geometrijskega tipa (točka, črta, površina ali napis) s točno določenim nizom atributov. Vektorski podatkovni model ERM je georelacijski podatkovni model, ki temelji na standardu DIGEST (*digital geographic information exchange standard*). Objektne entitete so dejanski pojavi na terenu (reke, ceste, zgradbe ...) ali abstraktni pojavi (imena pokrajin, administrativne meje ...) (EuroGeographics 2009, 13–15).

Poleg osnovnih topoloških odnosov osnovnih gradnikov, so v specifikacijah ERM-ja določeni tudi funkcionalni, prostorski in logični odnosi med objekti znotraj tematskih sklopov in med njimi. Ti topološki odnosi so definirani s pravili, ki določajo povezave med objekti, na primer:

- točka mejnega prehoda mora sovpadati s končnim vozliščem linije ceste ali železnice,
- površina naselje se ne sme pokrivati s površino morja,
- izvir ne sme ležati na površini jezera,
- linija vodotoka, ki predstavlja državno mejo, mora imeti povsem enako geometrijo kot ustrezen odsek državne meje itd. (EuroGeographics 2009, 14 in 98–114)

Vodja projekta in tehnična ekipa pripravljajo tudi fizični model za priporočen format izdelave in izmenjave baze ERM. To so predhodno pripravljene prazni podatkovni nizi (*ArcGIS geodatabase templates*), ki olajšajo izdelavo, izmenjavo in združevanje podatkov ERM-ja ter prispevajo k večji kakovosti podatkov (Pammer in sodelavci 2009, 27).

Baza ERM je izdelana v geografskem koordinatnem sistemu, osnovna enota je decimalna stopinja. Horizontalni datum je ETRS89, vertikalni datum je EVRS (*European vertical reference system*). V atributih so merski podatki navedeni v metričnem merskem sistemu (EuroGeographics 2009, 10–11).



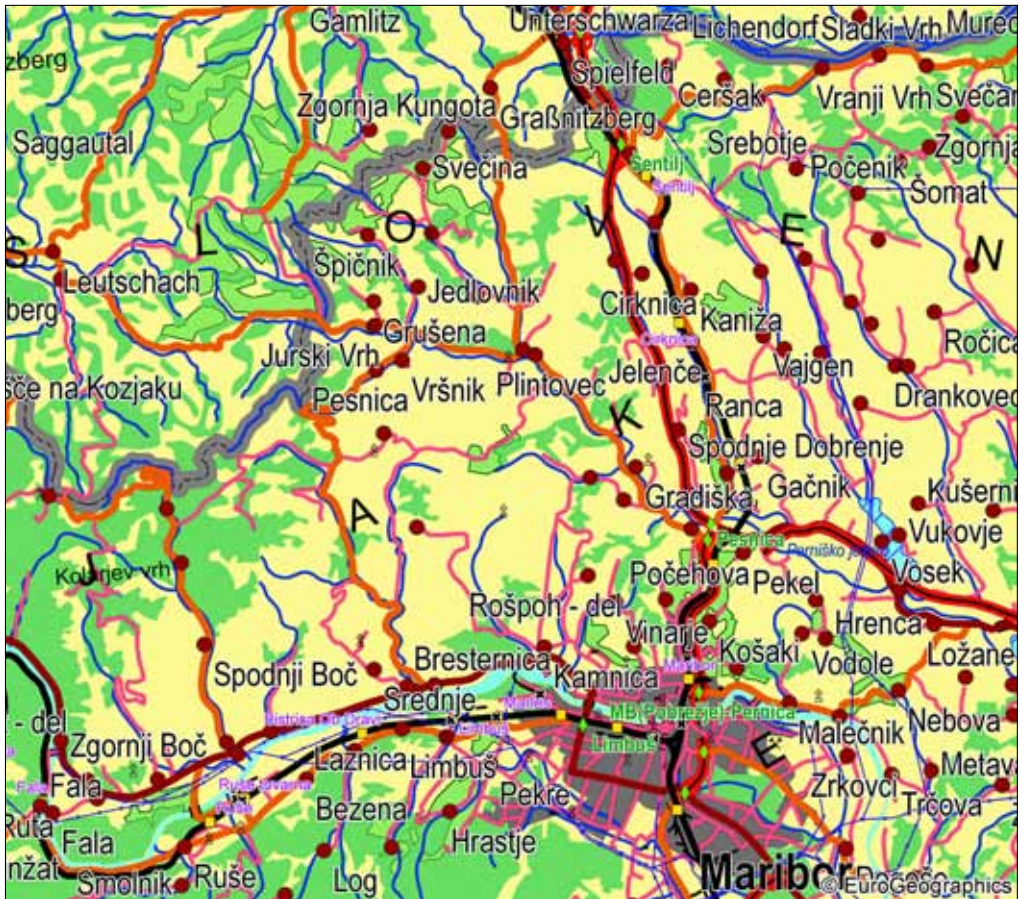
Slika 1: Prikaz podatkov ERM-ja na območju Slovenije, Avstrije in Madžarske (1 : 250.000).

Podatki ERM-ja se zajemajo in prikazujejo na ravni gostote, ki ustreza kartam srednjih meril, to je od 1 : 200.000 do 1 : 300.000. V specifikacijah je za vsak objektni tip posebej naveden kriterij zajema, ki služi kot splošno priporočilo, vsaka država pa ob izdelavi določi svoje podrobne kriterije prikaza. Pri tem je treba upoštevati, da je priporočeno merilo za prikaz baze ERM 1 : 250.000 (EuroGeographics 2009, 10).

Absolutna horizontalna natančnost predstavlja razliko med zajetimi horizontalnimi koordinatami pojavov in njihovim dejanskim položajem, ki se za digitalne izdelke izraža v dolžinah na zemeljskem površju. Podatki v ERM-ju naj bi imeli položajno natančnost 125 m ali boljšo, izjemoma je sprejemljiva tudi nižja natančnost glede na vir podatkov, kar je navedeno v metapodatkih. Pri geometrijski ločljivosti podatkov so upoštevane naslednje tolerance:

- najmanjša površina 0,006 km<sup>2</sup>,
- najmanjša razdalja lomnih točk 5 m,
- najmanjša dolžina črte 50 m (EuroGeographics 2009, 10–11).

Metapodatki so pomemben dodatni element, ki poleg običajnih podatkov o podatkih navajajo tudi vse posebnosti posameznih držav in odstopanja od specifikacij (npr. drugačen kriterij zajema za določen objektni tip, poseben pomen določenih atributov, opis državne kategorizacije cest ipd.) (EuroGeographics 2009, 20, 128–132).



Slika 2: Prikaz podatkov ERM-ja na območju Slovenije in Avstrije (1 : 100.000).

### 3 Postopek in organizacija izdelave ERM-ja

Organizacija izdelave ERM-ja poteka na več ravneh (Pammer in sodelavci 2009, 22–23):

- a) Glavna pisarna Združenja evropskih geodetskih in kartografskih uprav EuroGeographics je pogodbeni nosilec projekta in skrbi za sklepanje pogodb z naročniki in uporabniki baze ERM.
- c) Projekt vodi in koordinira Geografski inštitut Belgije (IGNB), ki je poleg vodenja odgovoren tudi za vzdrževanje baze, združevanje podatkov posameznih držav in distribucijo.
- c) Tehnična ekipa je sestavljena iz strokovnjakov iz različnih organizacij (National Geographic Institute of France (IGNF), National Geographic Institute of Belgium (IGNB), Bundesamt für Kartographie und Geodäsie of Germany (BKG), Bundesamt für Landestopografie of Switzerland (Swisstopo)), ki skrbijo za tehnični razvoj postopka izdelave ter zagotavljajo tehnično ozadje in podporo za izvajalce (posodablajo specifikacije in podatkovni model, pripravljajo tehnična navodila, razvijajo orodja).
- d) Zaradi velikega števila so sodelujoče države razdeljene v štiri regije. Regionalni koordinatorji so zadolženi za koordinacijo same priprave podatkov, kontrolo kakovosti in združevanje podatkov posameznih držav znotraj regije. Slovenija spada v skupino D, v kateri so še Nemčija, Poljska, Češka, Hrvaška, Madžarska, Slovaška in Avstrija, ki je tudi regionalni koordinator za to skupino.
- e) Podatke za posamezne države pripravijo geodetske in kartografske uprave sodelujočih držav. ERM pokriva večji del Evrope – trenutno sodeluje v projektu 33 držav.

Postopek izdelave ERM (Pammer in sodelavci 2009, 23–24):

- 1) Vsaka država v skladu s specifikacijami in tehničnimi navodili ter na osnovi podatkovnega modela in s pomočjo tehničnih orodij pripravi podatke za svoje ozemlje. Pri tem izhaja iz svojih uradnih državnih podatkovnih zbirk ustreznega merila, ki jih uporabi kot glavni vir za zajem in vzdrževanje baze ERM.
- 2) Sosednje države medsebojno uskladijo podatke na državni meji.
- 3) Posamezna država pošlje svoje podatke v pregled regionalnemu koordinatorju, ki podatke temeljito pregleda in oceni.
- 4) Regionalni koordinator posamezni državi sporoči vse najdene napake in pomanjkljivosti, ki jih država nato odpravi, če pa ostanejo določena odstopanja od specifikacij, ki jih ni možno odpraviti, ali druge posebnosti, se le-te navedejo in obrazložijo v metapodatkih.
- 5) Koraki pod točkama 3 in 4 se ponavljajo, dokler podatki ne dosežejo zadovoljive kakovosti (običajno dva- do trikrat), po potrebi se ponovi tudi usklajevanje na državni meji.
- 6) Regionalni koordinator zbere in združi podatke za vse države v skupini, države pa pripravijo in posredujejo še metapodatke.
- 7) Glavni vodja projekta združi vse podatke v brezšivno evropsko bazo.

Ena najpomembnejših faz projekta ERM je meddržavno usklajevanje podatkov na državnih mejah. Pri vključitvi države v projekt izdelave ERM-ja, torej pri prvi pripravi podatkov, je postopek usklajevanja podatkov na državni meji zahteven in dolgotrajen proces. Najprej je potrebno določiti potek same državne meje, kar morda na prvi pogled zveni kot trivialna naloga, v praksi pa se pojavljajo določene težave, saj državna meja ponekod ni točno določena (npr. na nekaterih vodnih površinah, kot je Bodensko jezero), ponekod pa je sporna. V primeru skupne karte ali baze je seveda treba točno določiti potek državne meje na način, s katerim se povsem strinjata obe državi. Ko se tako določi potek državne meje, se te črte štejejo kot dokončne in se kasneje med vsakoletnim obnavljanjem baze ne spreminjajo več (Pammer in sodelavci 2009, 23).

Vse preostale podatke v bazi morata sosednji državi na državni meji v celoti uskladiti, tako geometrijsko kot atributno. Uskladiti je treba vse linijske in površinske objekte, ki sekajo državno mejo ali z njo sovpadajo, ter vse točkovne objekte, ki ležijo na državni meji. Med državami naj ne bi bilo prekrivanja podatkov ali vrzeli, prometno omrežje pa naj bi bilo v celoti povezano, prav tako omrežje vodotokov. V ta namen so v tehničnih navodilih vključena podrobna navodila za meddržavno usklajevanje (*edge-matching rules*). Nekaj primerov teh pravil:

- Linijski objekt, ki sovпада z državno mejo (običajno je to vodotok), mora biti v podatkovni bazi obeh držav prikazan s povsem enako geometrijo.
- Pri linijskih in površinskih objektih se razlike, manjše od 125 m avtomatsko odpravijo s premikom linij in robov površin.
- V primeru linijskega objekta, ki se v podatkovni bazi konča na državni meji, v naravi pa jo seka in se nadaljuje v sosednjo državo, se državi dogovorita, ali se objekt briše, ali pa se zajame na obeh straneh državne meje.
- Objekti, ki ležijo na državni meji, morajo imeti povsem enake attribute v podatkih obeh sosednjih držav (EuroGeographics 2009, 15; Pammer in sodelavci 2009, 33–34).

Usklajevanja podatkov na državni meji zahteva precej dela, zato si sosednji državi med sabo razdelita naloge (običajno po tematskih sklopih) tako, da obe državi opravita približno enako količino dela. Država, ki je odgovorna za usklajevanje določenega sklopa, pridobi zadnje podatke od sosednje države in izvede usklajevanje podatkov, pri čemer sme urejati samo podatke za svojo državo. Za vse primere, kjer pa na ta način ne more uskladiti vseh podatkov, ker odstopanja zahtevajo tudi spremembo podatkov sosednje države, pripravi poročilo za sosednjo državo in v medsebojnem dogovoru reši vse odprte primere. Ti so lahko taki, da zahtevajo enostavno spremembo podatka v bazi sosednje države, ali pa zahtevnejši, ki jih državi rešujeta z obsežnejšim usklajevanjem (Pammer in sodelavci 2009, 35).

Komunikacija med vodstvom in izvajalci projekta poteka po različnih poteh (Pammer in sodelavci 2009, 24):

- Vsa obvestila in dokumenti so objavljeni na spletnih straneh *EuroGeographics* in posredovani po elektronski pošti, prek katere potekajo tudi dogovori in konzultacije.
- Ustvarjen je spletni forum, namenjen vprašanjem in razpravam o tehničnih težavah in rešitvah.
- Vse datoteke (navodila, specifikacije, objave, vzorčni podatkovni modeli, zadnje različice podatkov ...) so za sodelavce dostopni na spletnem odložišču ERM-ja.
- V skupini D, v kateri je tudi Slovenija, je regionalni koordinator uredil možnost izmenjave podatkov na spletni aplikaciji za upravljanje projektov *ProjectPlace*, kjer odlagamo podatke v vseh fazah projekta.
- Pomembno vlogo imajo tudi razna delovna ali vodstvena srečanja, ki jih redno (najmanj enkrat letno) organizirajo vodje projekta, tehnična ekipa ali regionalni koordinatorji znotraj skupin.

## 4 Priprava podatkov za Slovenijo

Nosilka projekta za Slovenijo je Geodetska uprava Republike Slovenije, ki vodi in koordinira projekt ter zagotavlja ustrezne vire podatkov in sredstva. Zajem, obdelava in priprava podatkov pa se izvaja na Geodetskem inštitutu Slovenije, kjer pripravimo podatke in metapodatke v skladu z vsemi specifikacijami in zahtevami.

Slovenija se je k projektu ERM priključila leta 2004. Prve podatke za vse vsebinske sloje smo pripravili leta 2005, naslednja leta pa smo izvajali obnovo podatkov. Zadnjo obnovo smo končali marca 2010, to je različica ERM 3.1.

Osnovni vir podatkov je Državna pregledan karta Republike Slovenije 1 : 250.000 (DPK250). Dodatni viri so:

- Register prostorskih enot (Geodetska uprava Republike Slovenije),
- Register državnih cest (Direkcija Republike Slovenije za ceste),
- podatki Statističnega urada Republike Slovenije,
- drugi kartografski viri.

Prvi korak pri pristopu Slovenije k projektu je bila določitev prikaza državne meje, ki je zahtevala skupni dogovor z vsemi sosednjimi državami. S potekom vsake državne meje se namreč morata strinjati obe sosednji državi. Z Avstrijo in Madžarsko glede tega ni bilo težav, Italijani pa ne sodelujejo,

temveč za njihovo ozemlje pripravijo podatke drugi iz razpoložljivih virov, zato smo tam mejo določili na osnovi slovenskih podatkov. Na meji s Hrvaško je bila ta naloga nekoliko zahtevnejša. Čeprav je naše medsebojno sodelovanje znotraj tega projekta zelo dobro, nikakor nismo uspeli določiti enotnega poteka meje, saj ima vsaka država v svojih uradnih evidencah drugačnega. Zato je bilo treba v podatkovni model dodati možnost, da se posamezni odseki državne meje in določene površine ob državni meji označijo kot sporni (*in dispute*).

Priprava podatkov ERM-ja za Slovenijo je potekala po sledečih korakih:

- zajem geometrijskih in atributnih podatkov iz osnovnega in dodatnih virov,
- generalizacija podatkov v skladu s specifikacijami ERM-ja,
- transformacija podatkov v koordinatni sistem baze ERM-ja,
- topološko urejanje in usklajevanje podatkov v skladu s specifikacijami ERM-ja,
- kontrola kakovosti podatkov,
- usklajevanje s sosednjimi državami na državni meji,
- izdelava metapodatkov.

Zgoraj opisan potek priprave podatkov je ustaljen in se izvaja vsakoletno, pri čemer smo na geodetskem inštitutu Slovenije prvo leto pripravili podatke za vse vsebinske sloje ERM, vsa naslednja leta pa te podatke dopolnjevali, urejali ter izboljševali kakovost v skladu z navodili in priporočili projektne ekipe in tehnične ekipe.

## 5 Sklep

Pri izdelavi podatkov ERM za Slovenijo lahko omenimo dve glavni prednosti:

- Glavni vir zajema podatkov, Državna pregledna karta Republike Slovenije 1 : 250.000 je bila izdelana v vektorski obliki povsem na novo leta 2005, obnovljena pa leta 2008 in že ob zasnovi usklajena s specifikacijami ERM-ja. Tako je bilo možno skoraj vse tematske sloje zajeti neposredno iz glavnega vira brez dodatne vektorizacije. Tudi ažuriranje je bilo potrebno v redkih primerih, saj je glavni vir tako rekoč nov. DPK250 je tudi zelo dobre kakovosti in položajne natančnosti.
- Druga prednost je dejstvo, da je Slovenja sorazmerno majhna, posledično so podatki veliko lažje obvladljivi, zaradi česar je možno določeno urejanje, zajem in popravljanje podatkov brez težav izvesti tudi ročno, torej z manj avtomatizacije, kar vsekakor prispeva k višji kakovosti končnih rezultatov.

Najbrž tudi te okoliščine prispevajo k dejstvu, da je sodelovanje Slovenije v projektu ERM zelo uspešno. Že prvo leto smo izdelali celotno bazo zelo dobre kakovosti, ob vsakoletni obnovi pa to bazo redno izboljšujemo in dopolnjujemo. Tudi popolnost podatkov (skoraj vsa geometrija in atributi so zajeti stodontno) in položajna natančnost sta zelo dobri. K uspešnosti projekta zagotovo pripomore dobro sodelovanje s sosednjimi državami, regionalnim koordinatorjem, tehnično ekipo in glavnim vodstvom.

## 6 Viri in literatura

EuroGeographics 2009: EuroRegionalMap, Pan-European Database at Medium Scale. Specification and Data Catalogue (različica 4.3).

Pammer, A., Hopfstock, A., Ipša A., Váňová, J., Vilus, I., Delattre, N. 2009: EuroRegionalMap – How to succeed in overcoming national borders. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, Book Cartography in Central and Eastern Europe. Berlin, Heidelberg.



## INTERAKTIVNA E-GRADIVA V PODPORI UČENJU ZGODOVINE IN GEOGRAFIJE V OSNOVNI IN SREDNJI ŠOLI

*dr. Dušan Petrovič, dr. Mojca Kosmatin Fras, dr. Dejan Grigillo, mag. Klemen Kozmus Trajkovski*  
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani  
*dusan.petrovic@fgg.uni-lj.si, mfras@fgg.uni-lj.si, dejan.grigillo@fgg.uni-lj.si, klemen.kozmus@fgg.uni-lj.si*

*Primož Kete, Matija Klanjšček, Miran Janežič*  
Geodetski inštitut Slovenije  
*primoz.kete@gis.si, matija.klanjscek@gis.si, miran.janezic@gis.si*

*Milan Palian*  
Prosoft Consulting d. o. o.  
*milan.palian@prosoft-consulting.si*

UDK: 37.091.64:004.738.5

### IZVLEČEK

#### **Interaktivna e-gradiva v podpori učenju zgodovine in geografije v osnovni in srednji šoli**

Uporaba e-gradiv pri izobraževanju v šolskih sistemih je precej omejena, zato smo v konzorciju treh inštitucij izdelali spletni portal, ki vključuje 37 različnih tem iz geografije in zgodovine za vse triade osnovne ter za srednje šole. Posamezne teme vsebujejo različne didaktične pripomočke v digitalni obliki in na spletu: elektronske tematske karte, spletne karte, geografske informacijske sisteme, interaktivne karte, večpredstavnostna prostorska okolja in atlase, dinamične 3-razsežnostne predstavitve, navigacijo in orientacijo v navideznem in realnem prostoru, povezavo karte s satelitsko določenim (GNSS) položajem, prostorske igre in kvize. Poleg izdelave spletnega portala smo v sklopu projekta izvedli 16 seminarjev za učitelje in jih vzpodbudili k nadaljnji širitvi obsega tem na portalu.

### KLJUČNE BESEDE

*e-gradiva, izobraževanje, geografija, zgodovina, interaktivne karte, seminarji, portal*

### ABSTRACT

#### **Interactive e-materials as a support in education process at geography and history for primary and secondary schools**

Use of e-materials in education system in Slovenia is rather limited. The consortium of three institutions made a web portal with 37 different themes from geography and history for primary and secondary schools. Particular theme consists of different didactical aids in digital form or in web environment, like digital thematic maps, web maps, geographical information systems, interactive maps, multidimensional space environments and atlases, dynamical 3D visualizations, navigation and routing in virtual and real environment, combination of maps and GNSS, space games and quizzes. Besides web portal, 16 seminars for teachers in schools were prepared with intention to further upgrading of web portal.

### KEY WORDS

*e-materials, education, geography, history, interactive maps, seminars, portal*



## 1 Uvod

Uporaba e-gradiv za področje prikazov, vezanih na prostor pri vzgoji in izobraževanju, je v Sloveniji, z izjemo nekaterih visokošolskih programov, skromna. Geodetski inštitut Slovenije že vrsto let širi vedenje o novih možnostih in oblikah didaktičnih pripomočkov in gosti učence različnih starostnih skupin. Tovrstne predstavitve in stiki z učenci ter učitelji so potrdile pomanjkanje gradiv ter veliko zanimanje za sodobne oblike prikazov prostora, ki s pomočjo digitalnih kartografskih vsebin in navidezne resničnosti omogočajo lažje dojetje geografskega znanja, orientacijo v prostoru in lociranje posameznih dogodkov oziroma dejavnosti. Konzorcij treh organizacij se je v letu 2009 vključil v projekt na Ministrstvu za šolstvo in šport, sofinanciran s sredstvi Evropskega socialnega sklada in Ministrstva za šolstvo in šport Republike Slovenije. Cilj projekta je izgradnja interaktivnih e-gradiv, dostopnih prek spletnega portala, kot podpora učenju geografije in zgodovine za vse triade osnovne, ter za nekatere letnike srednje šole. Slika 1 prikazuje vstopno mesto portala (medmrežje 5).

## 2 Zasnova Portala GIS e-gradiv

Portal GIS e-gradiv vsebuje štiri vsebinske sklope v okviru geografije in zgodovine v osnovni in srednji šoli. Upoštevane lastnosti pri zasnovi portala so oblikovna celovitost, interaktivnost, nadgradljivost, povezljivost in ažurne vsebine.

Gradiva portala se delijo hierarhično po strukturi:

e-Gradiva

Osnovna šola

Zgodovina

Razred (1.–9.)

Tema (več tem znotraj razreda)

Komponenta (več komponent znotraj določene teme)

Geografija

Razred (1.–9.)

Tema (več tem znotraj razreda)

Komponenta (več komponent znotraj določene teme)

Srednja šola

Zgodovina

Letnik (1.–4.)

Tema (več tem znotraj letnika)

Komponenta (več komponent znotraj določene teme)

Geografija

Letnik (1.–4.)

Tema (več tem znotraj letnika)

Komponenta (več komponent znotraj določene teme)

Posebna pozornost pri zasnovi in izgradnji portala je namenjena uporabnikom, pri čemer uporabnike delimo na osnovne uporabnike portala (učenci, naključni obiskovalci) ter uporabnike, ki pripravljajo lastne vsebine (učitelji). Osnovni uporabniki lahko uporabljajo komponente po posameznih temah in pridobijo interaktivno učno izkušnjo e-gradiva določene teme. Uporabniki, ki pripravljajo lastne vsebine, uporabijo že izgrajene komponente v okviru posameznih tem, ali pa naredijo popolnoma novo vsebino v obliki komponente. Prednost hierarhične strukture portala je, da omogoča povezljivost različnih tem med posameznimi predmeti in razredi/letniki.



Slika 1: Vstopno mesto portala e-gradiv.

### 3 Vsebina portala

Vsebina portala je sestavljena iz štirih vsebinskih sklopov, ki pokrivajo področji geografije ali zgodovine za osnovno ali srednjo šolo. Vsak od navedenih sklopov vsebuje določeno število tem. Na portalu so predstavljene teme iz preglednice 1.

Skupaj je v portal vključenih 37 tem, ki pokrivajo izbrane vsebine iz konkretnega šolskega učnega načrta. Vsaka od tem je bila v okviru projekta podrobno razdelana in opredeljena v spremnem dokumentu, ki vsebuje naslednja poglavja:

- Uvod,
- Učni cilji,
- Povezava z obstoječimi gradivi,
- Povezava z vsebinami iz natečaja,
- Oblike e-gradiv,
- Scenarij,
- Tehnično okolje izvedbe ter
- Priporočila za učitelja za uporabo pri učni snovi.

Dokument je namenjen naročniku ter razvijalcem gradiv in ni dostopen na portalu, se pa njegova vsebina zrcali v zasnovi, vsebini, funkcionalnosti in uporabnosti vsake posamezne teme. V omenjenem dokumentu je najpomembnejše poglavje Scenarij, ki podrobno opredeli vsebino in funkcionalnost posameznega gradnika predstavitev teme (portlet).

Predstavitev določene vsebine v obliki e-gradiva ima veliko prednosti. Z različnimi funkcionalnostmi, ki omogočajo zanimivo, dinamično in predvsem interaktivno spoznavanje vsebine, dosežemo drug nivo podajanja in osvajanja te vsebine. Na portalu so bili zato uporabljeni različni sklopi funkcionalnosti, ki so predstavljale osnovo za izdelavo komponent, s katerimi so predstavljene vsebine na portalu. Uporabljeni so bili naslednji sklopi funkcionalnosti:

- Tematske karte v elektronski obliki za potrebe projekcij in možne fizične interakcije z dodajanjem grafično pisnih elementov na projekcijsko podlago.
- Interaktivne karte, kjer na nemo kartografsko podlago uporabniki nalagajo tematske sloje, aero ali satelitske posnetke, ločene topografske vsebine ...

*Preglednica 1: Seznam tem v okviru katerih so razvita e-gradiva.*

---

**Geografija v osnovni šoli**

Tema 1	1. razred	Pogledam naokrog
Tema 2	2. razred	Pogledam naokrog
Tema 3	3. razred	Pogledam naokrog
Tema 4	4. razred	Prostorska orientacija in kartografija
Tema 5	4. razred	Domači kraj
Tema 6	5. razred	Domača pokrajina na zemljevidu
Tema 7	6.-9. razred	Ekskurzija v eno od slovenskih pokrajin Slovenska Istra Šaleška dolina
Tema 8	7. razred	Potresi in vulkani
Tema 9	9. razred	Gostota prebivalstva Slovenije
Tema 10	9. razred	EU – povezovanje evropskih držav in Slovenija
Tema 11	9. razred	Geografske značilnosti dinarskih pokrajin
Tema 12	9. razred	Značilnosti prometa v Sloveniji

**Geografija v srednji šoli**

Tema 1	1. letnik	Obča geografija – Površje Zemlje
Tema 2	1. letnik	Obča geografija – Prebivalstvo
Tema 3	2. letnik	Geografija sveta – Azija
Tema 4	2.–3. letnik	Geografija sveta – Severna Amerika
Tema 5	3. letnik	Geografija Evrope – Naravnogeografske značilnosti
Tema 6	3. letnik	Geografija Evrope – Družbenogeografske značilnosti
Tema 7	3. letnik	Geografija Evrope – Regije Evrope
Tema 8	3. letnik	Geografija Evrope – Srednja Evropa – Alpe
Tema 9	3. letnik	Geografija Slovenije – Površje in kamninska zgradba
Tema 10	3. letnik	Geografija Slovenije – Energetika in surovine

**Zgodovina v osnovni šoli**

Tema 1	2. razred	Bilo je nekoč
Tema 2	3. razred	Bilo je nekoč
Tema 3	7. razred	Prazgodovina. Prazgodovinska najdišča na Slovenskem
Tema 4	7. razred	Srednji vek. Naselitev naših prednikov
Tema 5	8. razred	Evropa na pragu novega veka. Velika odkritja
Tema 6	8. razred	Evropa in Slovenci po letu 1848. Nastanek Avstro-Ogrske
Tema 7	9. razred	Prva svetovna vojna. Bojišča v Evropi
Tema 8	9. razred	Svet po 2. svetovni vojni. Blokavska razdelitev sveta in krizna žarišča

**Zgodovina v srednji šoli**

Tema 1	1. letnik	Od mestnih držav do prvih imperijev. Prve visoke kulture
Tema 2	1. letnik	Prazgodovinska in antična kulturna dediščina na tleh današnje Slovenije
Tema 3	2. letnik	Različni modeli vladanja. Od razpada zahodnega dela rimskega cesarstva do stanovskih monarhij
Tema 4	2. letnik	Razvoj zgodovinskih dežel in Slovenci. Med alpskimi Slovani v Vzhodnih Alpah
Tema 5	3. letnik	Od nacionalnih gibanj do 1. svetovne vojne. Nacionalna gibanja v 19. Stoletju
Tema 6	4. letnik	Razvoj slovenskega naroda v 20. stoletju. Vprašanje meja
Tema 7	4. letnik	Sodelovanje in konflikti v 20. Stoletju

---

- Večpredstavnostna prostorska okolja, kjer uporabniki z izbiro določenih vsebin prostorske prikaze povezujejo na slike, zapise, filme, povezave (spoznavanje mest, značilnih pokrajin, geografskih oblik, najdišč ...), možnost iskanja določenih točk, objektov, lokacij s potovanjem skozi tri ali več razsežnostni model okolja (lahko kot nadgradnja na obstoječih okoljih, npr. Google Zemlja).
- Dinamične predstavitve (preleti, animacije) konkretnih dogodkov, območij animacije pojavov oziroma dogodkov (kroženje osončja, Zemlje, prehod krive ploskve Zemlje v ravnino ...).
- Prostorske igre, kjer so uporabljene kombinacije zgoraj naštetih oblik z interaktivni kvizi in vprašalniki, ali drugimi poizvedovanji v obliki zanimivih iger (iskanje mest, držav ... v 2R in 3R, ciljanje podanih koordinat točk, lociranje določenih vsebin na nemi podlagi različnih meril in ravni podrobnosti, izdelava lastne karte ob pomoči e-okolja, prepoznavanje določenega objekta na različnih ravneh kartografskega prikaza ...).

## 4 Tehnologija vzpostavitve portala

Živimo v času velikih sprememb v tehnologiji e-učenja. Nove generacije učencev, dijakov in študentov, t. im. »digitalni domačini«, široko uporabljajo digitalne tehnologije in spletne aplikacije v vsakdanjem življenju. Rezultat je precejšen razkorak med rešitvami za vsakdanje življenje in e-gradivi, s katerimi razpolaga šolski sistem. Obstoječa e-gradiva so večinoma ustvarjena z digitalizacijo obstoječih statičnih vsebin, ki so vključene v uniformirane pakete, kot je npr. SCORM. V najboljšem primeru je to *flash* animacija, povezana s testom in ređovalnico. Tipični »digitalni domačini« so prilagodljivi in za oceno izpolnjujejo zahtevane teste z minimalnim vložkom napora in ustvarjalnosti. Ob tem, samo za zabavo, ustvarjajo lastne vsebine na socialnih portalih in v komunikaciji z vrstniki razvijajo večšine ter osvajajo nove koncepte. Tako je očiten beg učenja iz izobraževalnega sistema v prosti čas. Novejše generacije šolskih in univerzitetnih platform si prizadevajo ustvariti pogoje, ob katerih se bosta kreativni naboj in ustvarjalnost vrnila v učni proces. Jasno je, da je to nujno za dolgoročno preživetje šolskega sistema, kot ga poznamo.

Z današnjo tehnologijo je »portlet« najbolj primerna enota za povezovanje poljubnih vsebin na internetu. Znotraj portleta tečejo javanske aplikacije in programi pisani v drugih jezikih, npr. PHP. Na voljo so portleti, ki prikazujejo poljubno spletno stran in druge internetne vsebine. Specializirani portleti omogočajo socialna omrežja in dostop do zalednih dokumentacijskih hramb. Portleti med sabo komunicirajo, prav tako pa se portlet lahko preslika iz enega portala v drugega in tako dostopamo do celovitih ter kompleksnih rešitev drugih ustvarjalcev. Posamezna tema e-gradiva je definirana kot zbirka portletov. Vsak portlet predstavlja posamezno vsebino, film, igro, spletno stran, forumsko temo ali katerikoli drugo komponento na internetu. Učitelj je urednik in hkrati voditelj skozi ta labirint, ki učenca usmerja, spodbuja in animira. Za tehnološko platformo bi lahko uporabili katerikoli javanski portal. Za naš projekt smo izbrali Liferay, ki je vodilni odprtokodni horizontalni portal. Sistem deluje v okolju Linux in uporablja bazo mySQL in je torej v celoti odprtokoden.

## 5 Izdelava komponent

Za vsakega od predmetov za posamezni vsebinski sklop so bili že ob skupni prijavi projekta izbrani pedagoški sodelavci – predstavniki osnovnošolske in srednješolske – pedagoške stroke, ki so bili zadolženi za izbiro in pripravo osnovnih vsebinskih gradiv. Vsa gradiva so bila izbrana glede na vsebine posameznih tem in skladno z veljavnimi učnimi načrti. Poudarek pri izbiri vsebin, ki naj bi bile prikazane s pomočjo nastajajočih e-gradiv, je bil na prostorsko-kartografskem delu oziroma na vsebinah, ki se navezujejo na prostorske prikaze, ter kot take omogočajo čim širše možnosti različnih kartografskih in drugih večpredstavnostnih upodobitev.



Slika 2: Primeri tem in komponent v spletnem portalu.

Sprva ločeni veji razvoja projekta, ki sta se odvijali bolj ali manj neodvisno (priprava vsebine ter tehnološki razvoj komponent in funkcionalnosti portletov), sta se v nadaljevnaju projekta logično združili. Izoblikovalo se je 20 neodvisnih programskih predlog, ki so posamezno ali v medsebojnih kombinacijah predstavljale osnovo za izdelavo vseh komponent. Pokrivala so temeljne vsebinske upodobitve (predstavitev posameznih tem), dodatne informacijsko-poučne vsebine (vprašalniki, prostorski kvizi) ter informacijsko-zabavne elemente (prostorske igre) ter več zahtevnostnih nivojev prikazov (enostavne rastrske karte, večslojni rastrski prikazi, interaktivne vektorske vsebine, »zoom« komponenta, animirani prikazi, kombinacije z drugimi spletnimi kartografskimi orodji, časovni trakovi, elektronske knjige ...). Zadnji korak postopka je bila dokončna predelava in prilagoditev vsebine za vklop v končno funkcionalnost posameznega portleta s pomočjo teh predloženih predlog. To je pomenilo zasnovano dokončne vsebinsko-funkcionalne sheme in dokončno pripravo gradiv (besedila in prelomi, izbor in obdelava fotografij, združevanje fotografij v galerije, izbor video vsebin in izdelava video galerij, izdelava in ustrežna navezava vseh teh vsebin na prostorske upodobitve). Takšen celosten nabor gradiv je nato omogočil programsko kodiranje in vključitev vseh vsebinsko-kartografskih in drugih prostorskih upodobitev v zaključno izdelavo posameznih komponent. Slika 2 prikazuje primere nekaterih komponent.

Na videz morda enostavne rešitve so zahtevale ustrezne dodatne postopke preverjanja delovanja in kontrole vsebin – prvotno znotraj lokalne postavitve sistema, ter kasneje neposredno na medmrežju, vsebinsko pa najprej z avtorji gradiv (in učitelji) in nazadnje z recenzenti in konzultanti za posamezni predmet ter stopnjo zahtevnosti. Šele vsi ti opisani postopki so zadostili pogojem za hitrejšo in sistematično izdelavo številnih komponent, ki skupno tvorijo jedro posameznih tem in predmetov nastajajočih e-gradiv.

## 6 Seminarji za učitelje

S ciljem celovitejše predstavitve pripravljenih e-gradiv in vzpostavljenega Portala med učitelji, smo v okviru projekta izvedli seminarje. Seminarji so bili pripravljani ločeno za profile učiteljev glede na stopnjo izobraževanja in glede na učni predmet. Vseh izvedb seminarja je bilo 16. Prvi del seminarja

je potekal na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo. V osmih urah smo učiteljem predstavili teoretične teme o pomenu koordinatnega sistema v prostoru, o virih in načinih zajema prostorskih podatkov, o državnih podatkih v Sloveniji ter o načinih sodobne izdelave kart. Sledil je opis vsebine portala e-učene s predstavitvijo tem in komponent, ki so jih udeleženci tudi praktično preizkusili.

Drugi del seminarja je bil izveden kot individualno delo. Vsak udeleženec seminarja je e-gradiva uporabil v učnem procesu v razredu z učenci. Lahko pa je na osnovi vzorca pripravljenih tem izdelal svojo lastno temo, jo vključil v spletni portal in jo nato še uporabil v sklopu svoje učne ure – v razredu. Izkušnje glede izvedbe je prek spletne aplikacije delil z ostalimi udeleženci seminarja ter predavatelji.

## 7 Sklep

Glavni namen predstavljenega projekta, ki ga je razpisalo Ministrstvo za šolstvo in šport s sofinanciranjem Evropskega socialnega sklada, je povečanje uporabe e-gradiv pri vseh oblikah izobraževanja v osnovni in srednji šoli. Tovrstne oblike naj bi vzpodbudile današnje generacije učencev k učenju na bolj privlačen način. Tako smo pri pripravi teme in komponent v stikih z učitelji, recenzenti in konzultenti prišli do zanimivih ugotovitev. Tehnološko smo se trudili izdelati privlačne in vsebinsko bogate komponente, ki pa so pri uporabnikih naletele na različen odziv. Izkazalo se je, da so animacije in prostorske igre mnogo bolj privlačne od interaktivnih kart z dodanim besedilom razlage. Čas, ki so ga učenci pripravljene porabiti pri posamezni temi, je zelo kratek, zato morajo biti ključni podatki predstavljeni na zgoščen in zelo zanimiv način. Ugotovili smo tudi, da na seminarjih udeleženi učitelji večinoma pozdravljajo pripravljene teme e-gradiv, da pa so precej manj naklonjeni možnosti izdelavi lastnih tem, ki bi se dodajale v spletni portal.

## 8 Viri in literatura

Medmrežje 1: <http://www.mind-projects.it/projects/jqzoom/demos.php#> (1. 3. 2010).

Medmrežje 2: <http://www.eduplace.com/kids/socsci/ca/books/bkf3/imaps/> (1. 3. 2010).

Medmrežje 3: <http://www.mywonderfulworld.org/toolsforadventure/usingmaps/index.html> (1. 3. 2010).

Medmrežje 4: <http://www.sheppardsoftware.com/Geography.htm> (1. 3. 2010).

Medmrežje 5: <http://egradiva.gis.si/web/egradiva> (1. 3. 2010).

Medmrežje 6: <http://www.megazine3.de/demo/index.html> (1. 3. 2010).

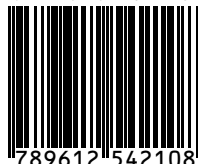
Medmrežje 7: <http://www.ammap.com/examples/countries/slovenia> (1. 3. 2010).

Medmrežje 8: <http://www.the-map-as-history.com/> (1. 3. 2010).

Petrovič, D., Kosmatin Fras, M., Grigillo, D., Kozmus Trajkovski, K., Kete, P., Klanjšček, M., Janežič, M., Poredoš, K., Palian, A., Palian, M., Budimir, A.: Elaborat projekta e-gradiv. Elaborat (v pripravi), Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Geodetski inštitut Slovenije, Prosoft Consulting, Ljubljana.



ISBN 978-961-254-210-8



9 789612 542108

39,00 €