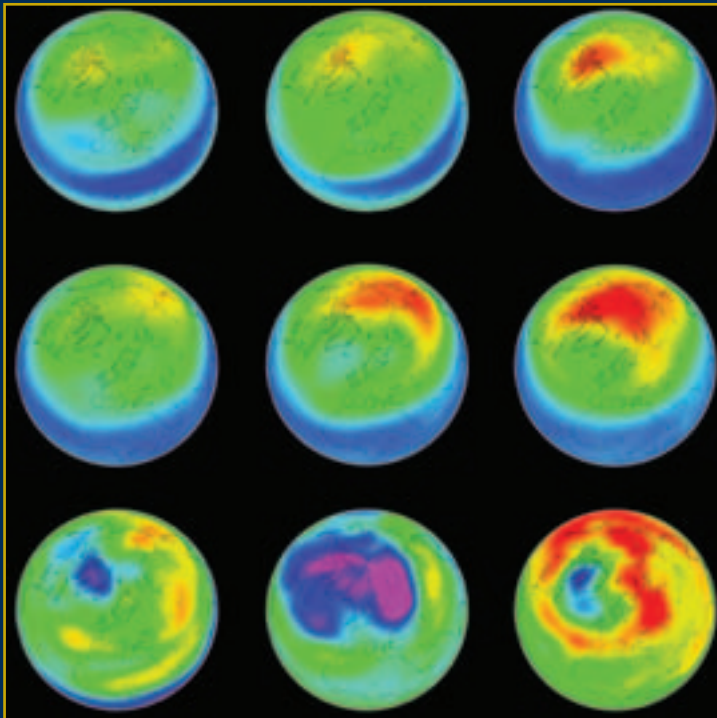


# GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SISTEMI V SLOVENIJI 2005–2006

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







GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SISTEMI  
V SLOVENIJI 2005–2006





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

*Uredili:*

**Drago Perko  
Janez Nared  
Marjan Čeh  
David Hladnik  
Marko Krevs  
Tomaž Podobnikar  
Radoš Šumrada**

Ljubljana 2006

---

## GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SISTEMI V SLOVENIJI 2005–2006

Drago Perko, Janez Nared, Marjan Čeh, David Hladnik,  
Marko Krevs, Tomaž Podobnikar, Radoš Šumrada

© Geografski inštitut Antona Melika ter Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU, 2006

*Uredniki:* Drago Perko, Janez Nared, Marjan Čeh, David Hladnik,  
Marko Krevs, Tomaž Podobnikar, Radoš Šumrada

*Recenzenta:* Matej Gabrovec, Marjan Ravbar

*Izdajatelj:* Geografski inštitut Antona Melika ter  
Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU

*Za izdajatelja:* Drago Perko, Ivan Šprajc

*Soizdajatelj:* Zveza geografskih društev Slovenije in Zveza geodetov Slovenije

*Za soizdajatelja:* Mitja Bricelj, Jurij Režek

*Založnik:* Založba ZRC

*Za založnika:* Oto Luthar

*Glavni urednik založbe:* Vojislav Likar

*Računalniški prelom:* SYNCOMP d. o. o., Ljubljana

### *Naslovnica:*

Slika na naslovnici, ki prikazuje spreminanje koncentracije ozona, je vzeta iz poglavja Asimilacija podatkov kot metoda v GIS. Avtor poglavja je Klemen Zakšek.

Izid publikacije je podprla Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije.

---

CIP - Kataložni zapis o publikaciji  
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

659.2:004:91(082)(0.034.2)

GEOGRAFSKI informacijski sistemi v Sloveniji 2005-2006 [Elektronski vir] / uredili Drago Perko ... [et al.]. - El. knjiga. - Ljubljana : Založba ZRC, ZRC SAZU, 2013

ISBN 978-961-254-516-1 (pdf)  
<https://doi.org/10.3986/9789612545161>  
1. Perko, Drago, 1961-  
269357056



---

## VSEBINA

Uvodnik .....	9
<i>Klemen Zakšek</i>	
Asimilacija podatkov kot metoda v GIS .....	13
<i>Žiga Kokalj, Kristof Oštir, Aleš Marsetič</i>	
Izdelava ortopodob iz satelitskih posnetkov .....	23
<i>Tomaž Podobnikar, Jurij Mlinar</i>	
Integriranje podatkov reliefa Slovenije .....	33
<i>Mauro Hrvatin, Drago Perko</i>	
Hipsografska analiza porečij z digitalnim modelom višin .....	43
<i>Natalija Špeh</i>	
Geoinformacijska orodja in obdelava podatkov bioindikatorskih metod .....	53
<i>Mojca Dolinar</i>	
Prostorska porazdelitev trajanja sončnega obsevanja .....	61
<i>Marko Komac</i>	
Potencialno plazovita območja v Sloveniji in izpostavljenost človekovega okolja .....	73
<i>Mateja Breg, Jerneja Fridl, Aleš Smrekar</i>	
Geoinformacijska podpora pri določanju prednostne sanacije neurejenih odlagališč .....	83
<i>Peter Frantar, Mojca Dolinar</i>	
Geoinformacijska podpora vodni bilanci porečja Savinje v obdobju 1971–2000 .....	95
<i>Mitja Janža</i>	
Analiza odvisnosti indeksa baznega toka od lastnosti povodja .....	103
<i>Damijan Bec, Tomaž Podobnikar</i>	
Spreminjanje struge reke Save na Ljubljanskem polju .....	113
<i>Leon Gosar, Gašper Rak, Franc Steinman</i>	
Analiza hidravličnih lastnosti vodotokov z uporabo GIS orodja .....	123
<i>Peter Frantar, Irena Rejec Brancelj, Jure Jerovšek</i>	
Analiza vodomernih postaj ARSO z vidika referenčnih razmer porečja .....	133
<i>Blaž Barborič, Dalibor Radovan</i>	
Batimetrični model slovenskega morja .....	141
<i>Matija Klanjšček, Igor Karničnik, Dalibor Radovan</i>	
Vloga navtičnega vodnika slovenskega morja in pomorskih publikacij za priobalni GIS .....	151
<i>Mojca Golobič</i>	
Kartiranje normativnega znanja: spoznavni zemljevidi in GIS .....	159
<i>Aleš Mlakar</i>	
Analiza ranljivosti prostora kot izhodišče izvedbe celovite presoje vplivov na okolje .....	169
<i>Breda Mihelič, Igor Bizjak</i>	
Geografski informacijski sistem kot orodje za določanje prioritetnih območij prenove mest .....	177
<i>Janez Nared</i>	
Uporaba geografskih informacijskih sistemov pri spremljanju in vrednotenju investicij s področja regionalnega razvoja na primeru spodbujanja razvoja turističnih destinacij .....	189
<i>Benjamin Štular</i>	
Analiza gospodarskega zaledja v arheologiji krajinj .....	199
<i>Sašo Poglajen</i>	
Iskanje rimske cestne mreže v severozahodni Istri .....	211



---

<i>Krištof Oštir</i>	
Uporaba daljinskega zaznavanja za odkrivanje majevskih arheoloških najdišč .....	223
<i>Jožica Škofic</i>	
Uporaba GIS v dialektologiji .....	233
<i>Matej Knapič, Tomaž Seliškar, Stanislav Gomboc, Vlasta Knapič</i>	
GIS na področju varstva rastlin pred škodljivimi organizmi .....	243
<i>Primož Pajk, Vlasta Knapič, Stanislav Gomboc, Matej Knapič, Tomaž Seliškar</i>	
Uporaba GIS-a pri razmejevanju škodljivih organizmov na primeru hruševega ožiga .....	253
<i>Maja Zagmajster, Boris Sket, Tomaž Podobnikar</i>	
Izbira mreže za prostorsko analizo podzemeljske biodiverzitete .....	261
<i>Dejan Paliska, Daša Fabjan, Samo Drobne</i>	
Večstopenjski model določanja uniformnih storitvenih območij avtobusnih postajališč .....	271
<i>Igor Kuzma, Danijela Šabić</i>	
Možnosti analize in prikazovanja statističnih podatkov v hierarhični mreži .....	279
<i>Matej Petkovšek, Mojca Tomažič, Damjan Vrček</i>	
Uporaba GIS-a pri conaciji območij Natura 2000 .....	287
<i>Tomislav Iskra</i>	
Integrirana uporaba globalnega sistema pozicioniranja in digitalnih radijskih zvez v Slovenski policiji .....	293
<i>Matic Petek, Aleš Veršič</i>	
Spletne storitve Agencije Republike Slovenije za okolje s pomočjo geografskih informacijskih sistemov .....	299
<i>Dragan Vitas, Mark Pleško, Andrej Maležič, Mitja Šlenc, Miha Kadunc</i>	
Spletna storitev za upravljanje in urejanje prostorskih GIS podatkov .....	309
<i>Tomaž Petek</i>	
Infrastruktura za prostorske informacije v Evropski Skupnosti (INSPIRE) .....	319

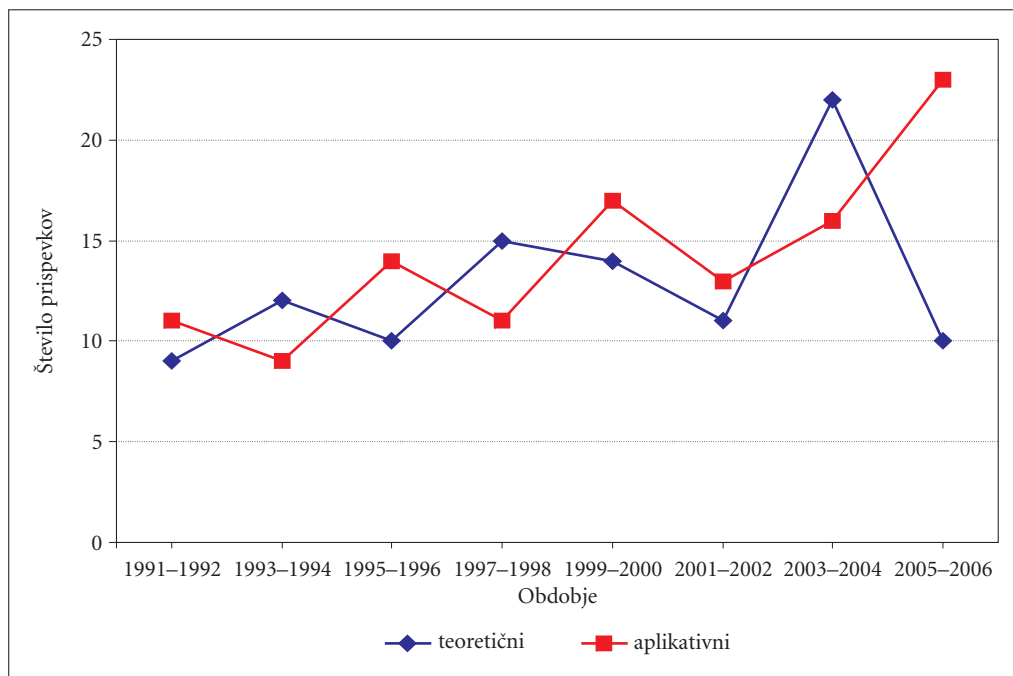
## UVODNIK

Leta 1991 smo si zastavili nalogo, da bomo bienalno predstavljali znanstvene, strokovne in pedagoške dosežke in usmeritve na področju razvoja in uporabe geografskih informacijskih sistemov v Sloveniji. Pred vami je osma knjiga, s katero želimo izpolniti zastavljeno nalogo, tokrat za dveletno obdobje 2005–2006. Vsebuje 33 prispevkov, ki jih je uredniški odbor izbral izmed poslanih na razpis. Izmed njih je bilo izbranih 8 posebej zanimivih za predstavitev na simpoziju z enakim naslovom, kot ga nosi ta knjiga.

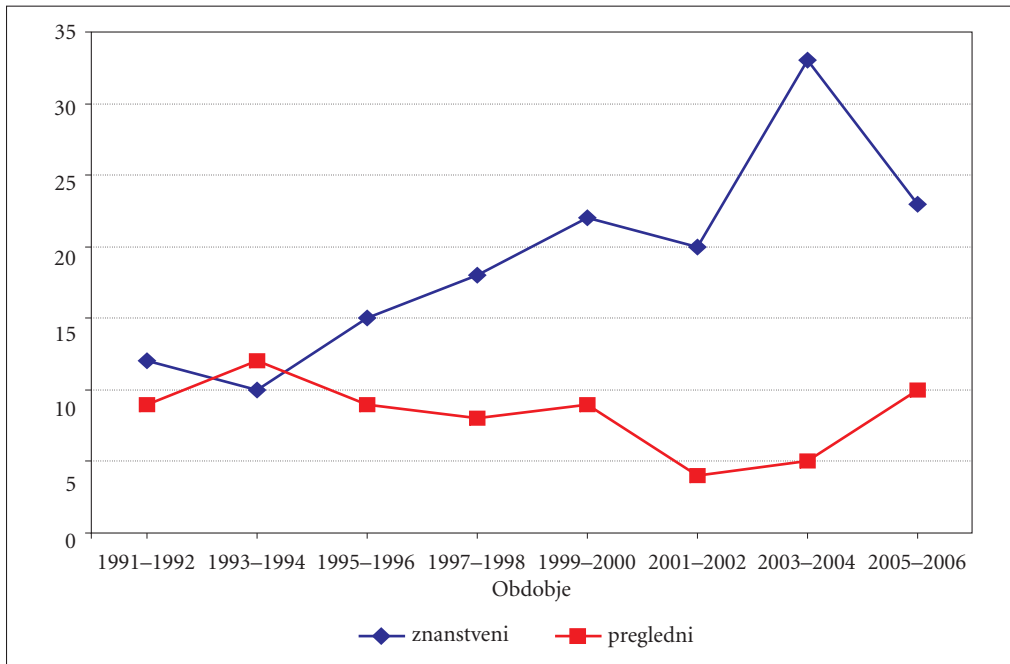
Od začetka našega delovanja vabimo k sodelovanju vse, ki pri svojem delu uporabljate geografske informacijske sisteme – ne glede na stroko ali področje dela. Zato nas ob pregledovanju vseh dosedanjih knjig ne preseneča izjemna vsebinska raznovrstnost prispevkov. Skupaj z letošnjimi je bilo doslej objavljenih 219 prispevkov. Oglejmo si preprosto analizo spreminjanja njihove strukture s treh vidikov:

- razmerja med »teoretičnimi« in »aplikativnimi« prispevki,
- razmerja med »znanstvenimi« in »preglednimi« prispevki ter
- razmerji med prispevki z različnih geoinformacijskih področij.

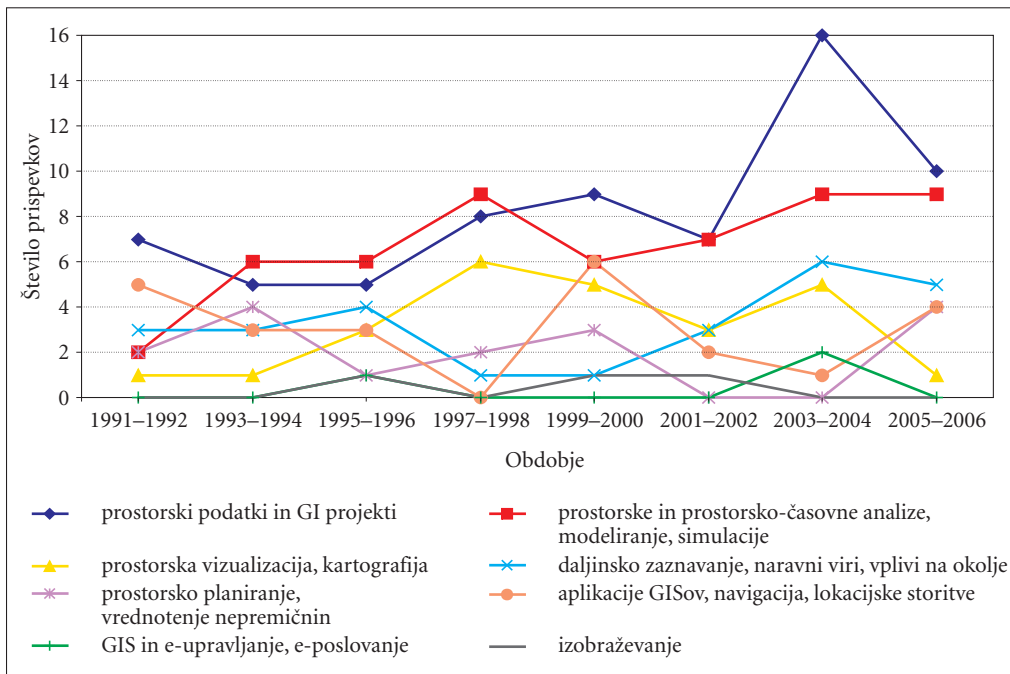
Ker je številne prispevke mogoče uvrstiti v več kategorij, je obravnava strukture prispevkov le približna – a vendarle kaže nekatere opaznejše poteze njenega spreminjanja v obravnavanem obdobju. Razmerje med »teoretičnimi« in »aplikativnimi« prispevki (slika 1) je bilo večinoma uravnoteženo, razen v sedanji knjigi, v kateri beležimo izrazitejšo prevlado »aplikativnih« prispevkov. V obravnavanem obdobju se je na splošno povečevala prevlada »znanstvenih« prispevkov v primerjavi s »preglednimi« (slika 2). Po posameznih geoinformacijskih področjih beležimo izrazita nihanja v številu prispevkov (slika 3). V vseh knjigah so prevladovali članki, ki so obravnavali prostorske podatke v najširšem smislu, ali geoinformacijske (prostorske, prostorsko-časovne) analize oziroma modeliranje. Izrazitejše zanimanje za



Slika 1: Spreminjanje razmerja med »teoretičnimi« in »aplikativnimi« prispevki.



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



Slika 3: Spreminjanje razmerja med prispevki glede na obravnavano področje geoinformatike.

aplikacije geografskih informacijskih sistemov, navigacijske sisteme in lokacijske storitve beležimo zlasti v obdobjih 1991–1992 ter 1999–2000, za prostorsko vizualizacijo v obdobju 1997–1998 in 2003–2004, za daljinsko zaznavanje, upravljanje z naravnimi viri, analize vplivov na okolje na primer v obdobju 2003–2004.

Geografski informacijski sistemi so torej tudi v Sloveniji postali res izjemno razširjeno orodje. Kljub zadovoljstvu s tem dejstvom že več let ugotavljamo tudi nekatere pomanjkljivosti slovenske geoinformatike, ki bi jih želeli v prihodnje odpraviti ali vsaj zmanjšati. Raba GIS-ov v Sloveniji ostaja v veliki meri zaprta o okviru posameznih strok ali ustanov in je torej še malo izkoriščena možnost ugodnih učinkov medsebojnega sodelovanja med strokami in med ustanovami. Objavljanju prispevkov iz različnih strok ter na dve leti srečevanju strokovnjakov, znanstvenikov in pedagogov s področja geoinformatike bi bilo morda smiselno dodati (spletno) okolje, ki bi omogočalo pogostejše (vsaj virtualno) srečevanje, obveščanje in razpravljanje.

Na drugi strani le izjemoma zasledimo izvirne znanstvene ali aplikativne prispevke na ožjem področju geografskih informacijskih sistemov oziroma geografske informacijske znanosti. Prevladujejo namreč predstavitve uporabe že obstoječih metod in tehnoloških rešitev na različnih strokovnih področjih. Takšnih prispevkov si zaradi večdisciplinarnosti rabe geografskih informacijskih sistemov sicer še vedno želimo, a kot podlago za uspešnejše uveljavljanje slovenske geoinformatike v Sloveniji in na svetovnem prizorišču in tržišču si bo uredniški odbor v prihodnje prizadeval povečevati delež tudi v ožjem geoinformacijskem smislu inovativnih prispevkov.

*Drago Perko  
Janez Nared  
Marjan Čeh  
David Hladnik  
Marko Krevs  
Tomaž Podobnikar  
Radoš Šumrada*



## ASIMILACIJA PODATKOV KOT METODA V GIS

**Klemen Zakšek**

*Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU*

*Novi trg 2, 1000 Ljubljana*

*klemen.zaksek@zrc-sazu.si*

UDK: 659.2:004:91

### IZVLEČEK

#### **Asimilacija podatkov kot metoda v GIS**

*Pri modeliranju dinamičnih procesov imamo pogosto na voljo premalo podatkov, da bi zanesljivo določili vrednost izbrane spremenljivke na poljubni točki v izbranem času. Ker so pri dinamičnih procesih podatki zajeti v različnih trenutkih, so rezultati, pridobljeni s klasičnimi interpolacijskimi metodami, nezanesljivi. Asimilacija podatkov pa omogoča izdelavo zveznega sloja izbrane spremenljivke za izbran trenutek na podlagi matematičnega modela tudi, če so bili podatki zajeti v različnih trenutkih. Gre za prostorsko časovno analizo, ki poišče tisti model, ki se optimalno ujema z danimi podatki. V okviru tega članka je prikazana zmogljivost te metode za modeliranje dinamičnih procesov v GIS na primeru uporabe asimilacije podatkov na različnih področjih.*

### KLJUČNE BESEDE

*asimilacija podatkov, model, dinamični procesi, prostorsko časovne analize*

### ABSTRACT

#### **Data assimilation as GIS method**

*The dynamical process modelling is often affected by the lack of appropriate data, thus the value of the selected variable in the chosen location and time is uncertain. Data acquisition moment is usually not the same for the whole available dataset in the case of the dynamical processes, thus results generated with the classical interpolation methods are unreliable. The data assimilation enables the generation of the continuous layer of the chosen variable in the chosen time by a mathematical model, even if the input data were acquired in different moments. It is the spatial-temporal analysis that searches for the model that optimally fits the available data. Within the article, the method ability of an effective modelling of dynamical processes in GIS is shown with some examples from different applications.*

### KEYWORDS

*data assimilation, model, dynamical processes, spatial-temporal analyses*

## 1 Uvod

V svojih začetkih so se geografski informacijski sistemi (GIS) izkazali kot primerno orodje za avtomatsko kartiranje in shranjevanje geokodiranih podatkov. Sčasoma je bilo razvitih in vključenih v programsko opremo tudi vse več prostorskih analiz, ki jih lahko množično uporabljamo na različnih področjih. S spletom, prenosno tehnologijo GIS in globalnim navigacijskim sistemom je tako GIS nekajkrat povečal število naključnih uporabnikov, katere npr. zanima, katera turistična znamenitost se nahaja ob njihovi poti, kje je najbližja banka itd. Na drugi strani imamo raziskovalci, ki GIS s pridom uporabljamo v svoji stroki, visoke zahteve od prostorskih analiz, saj GIS uporabljamo za pridobivanje novih informacij. Velikokrat nas zanima prostorska porazdelitev spremenljivke, ki jo lahko v primeru, da ne poznamo vrednosti spremenljivke na izbrani legi, ocenimo na tri načine (Kanevski in Maignan 2004):

- z deterministično interpolacijo (npr. interpolacija v smeri največjega naklona),
- z geostatističnimi metodami (kriging),
- z modelom, ki opisuje proces (npr. navidezno gibanje Sonca za določitev obseva).

Prvi dve metodi z zgornjega seznama sta uporabni le za modeliranje statičnih objektov oziroma tistih procesov, za katere lahko rečemo, da so dovolj počasni (npr. tudi relief se spreminja, a so spremembe načeloma tako počasne, da lahko predvidimo, da bo danes izdelan digitalni model reliefa primerna predstavitev reliefa tudi čez več let).

Modeliranje dinamičnih procesov je velikokrat rešeno z regresijsko analizo (Kanevski in Maignan 2004). Ko postane proces preveč zapleten, pa regresija in podobne metode, ki v večini slonijo na stohastičnih predpostavkah (npr. metoda Monte Carlo), odpovejo. S takimi težavami so se prvi srečali meteorologi, ki kljub vsem sistemom zbiranja podatkov o atmosferi še danes nimajo dovolj informacij za točno napoved vremena (Ghil 2000). V ta namen so za boljšo vremensko napoved razvili več modelov, ki pa lahko ob neustreznem obravnavanju podatkov podajo popolnoma napačne rezultate (Kalnay 2004).

Klasične interpolacijske metode (deterministične in geostaistične) niso primerne za določitev zveznega sloja spremenljivk, ki so ne samo krajevno, ampak tudi časovno odvisne. Ker se moramo v praksi vse prevečkrat soočiti z omejenimi sredstvi, je opazovanj načeloma vedno premalo, zato potrebujemo model, ki pojasnjuje časovno odvisnost izbranih spremenljivk. Pri zapletenih procesih so v uporabi numerični modeli, ki za pravilno delovanje potrebujejo kvalitetne začetne in robne pogoje, te pa nam lahko zagotovi asimilacija podatkov (Ghil 2000). Asimilacija podatkov je torej prostorsko časovna analiza, ki model optimalno priredi vhodnim podatkom. Glede na »uspeh« te metode v meteorologiji bo v tem članku predstavljena možnost njene uporabe znotraj orodij GIS.

## 2 Teoretično ozadje

Obseg članka ne dovoljuje podrobne predstavitve metode (podrobnejši podatki so dosegljive v navedeni literaturi in na svetovnem spletu), a si bomo pred nadaljevanjem vseeno ogledali njeno matematično osnovo na primeru časovno linearno odvisnega modela. V praksi so modeli praviloma nelinearni, parametri modela, podatki in opazovanja vsebujejo napake, a predpostavimo, da delamo s preprostim, idealnim primerom brez šuma. Stanje izbrane spremenljivke v časovno linearno odvisnem modelu med trenutkoma  $t_k$  in  $t_{k+1}$  opišemo z enačbo 1 (Nichols 2003).

$$x_{k+1} = F \cdot x_k + G \cdot u_k \quad k = 0 \dots N-1 \quad (1)$$

$x_k$  vektor stanja izbrane spremenljivke v času  $t_k$   
 $u_k$  vektor vhodnih podatkov modela v trenutku  $t_k$   
 $F, G$  sistemski matriki modela dinamičnega procesa

Z (1) predpostavljamo, da lahko ob danih vhodnih podatkih, ki vplivajo na razvoj stanja izbrane spremenljivke, vedno enolično določimo vrednost te spremenljivke za poljuben trenutek. V model vključimo še opazovane količine, ki so linearno odvisne od stanja v modelu (2). Če začetna vrednost  $x_0$  ni dovolj natančno poznana, je naloga asimilacije uporabiti opazovane količine za določitev stanja spremenljivke v poznejših trenutkih. To lahko naredimo na dva načina: s prekinjeno ali z neprekinjeno asimilacijo podatkov.

$$y_k = H \cdot x_k \quad k = 0 \dots N - 1 \quad (2)$$

$y_k$  vektor opazovanih količin v času  $t_k$   
 $H$  matrika opazovanj

### 2.1 Prekinjena asimilacija podatkov

Pri prekinjeni asimilaciji podatkov so približki začetnih pogojev izbrani na podlagi izkušenj. Z modelom nato določimo stanje za čas  $t_k$ , za katerega so na voljo že prva opazovanja. Razliko med opazovanimi in predvidenimi vrednostmi  $x_k^b$  uporabimo za prilagoditev modela. Po prilagoditvi ima stanje modela vrednost  $x_k^a$ , ki ga imenujemo tudi stanje analize. Model naslednjič ustavimo v trenutku, ko imamo na voljo nova opazovanja, in potem zopet ponovimo celoten postopek. Matematično zapišemo model z enačbami 3–4 (Nichols 2003).

$$x_{k+1}^b = F \cdot x_k^a + G \cdot u_k \quad (3)$$

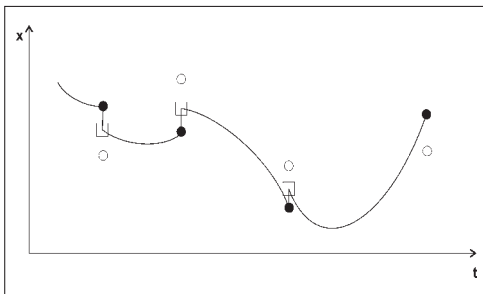
$$x_{k+1}^a = x_{k+1}^b + K \cdot (H \cdot x_{k+1}^b - y_{k+1}) \quad (4)$$

$K$ , matrika prirastka, mora biti izbrana tako, da je zagotovljena konvergenca k pravemu stanju modeliranega procesa. To je vedno mogoče, kadar imamo na voljo opazovane količine, ki opisujejo razvoj stanja spremenljivke. Sistem enačb 3–4 lahko preuredimo v enačbo 5. Ta model ima spremenjene lastnosti glede na izvorni model (1). Njegova stabilnost je odvisna od matrike  $F + K \cdot H \cdot F$ , zato matrika prirastka  $K$  določa lastnosti stanja analize in s tem celoten potek asimilacije podatkov. Postopek prekinjene asimilacije podatkov je grafično prikazan na sliki 1.

$$x_{k+1}^a = (F + K \cdot H \cdot F) \cdot x_k^a + (G + K \cdot H \cdot G) \cdot u_k - K \cdot y_{k+1} \quad (5)$$

### 2.2 Neprekinjena asimilacija podatkov

Neprekinjena asimilacija podatkov uporablja v nasprotju s prekinjeno asimilacijo, ki ob danih opazovanjih vedno znova posodobi stanje v modelu, vsa opazovanja znotraj danega časovnega okvirja. V tem



Slika 1: Potek prekinjene asimilacije podatkov (Walker in Houser 2005); črta predstavlja potek modeliranega procesa, črne pike z modelom predvidena stanja, bele pike opazovanja in kvadrati stanja analize.



primeru lahko gledamo na čas kot na četrto dimenzijo. Preuredimo torej sistem enačb 1–2 tako, da so opazovanja funkcija časa (6; Nichols 2003).

$$y_k = H \cdot x_k = H \cdot F \cdot x_{k-1} + H \cdot G \cdot u_{k-1} \quad (6)$$

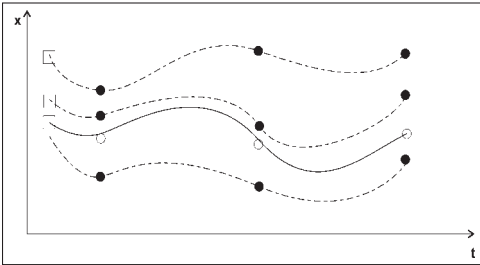
Potem lahko zapišemo tak sistem enačb tudi za poljuben trenutek  $t_k$ ,  $k=0, 1, 2 \dots N-1$  (7).

$$\begin{aligned} H \cdot x_0 &= y_0 \\ H \cdot F \cdot x_0 &= y_1 - H \cdot G \cdot u_0 \\ H \cdot F^2 \cdot x_0 &= y_2 - H \cdot G \cdot u_1 - H \cdot F \cdot G \cdot u_0 \\ &\vdots \\ H \cdot F^{N-1} \cdot x_0 &= y_{N-1} - \sum_{j=0}^{N-2} H \cdot F^j \cdot G \cdot u_{N-j-2} \end{aligned} \quad (7)$$

S (7) nastavimo predoločen sistem linearnih enačb za neznan začetni pogoj, ki ga lahko rešimo z metodo najmanjših kvadratov (8), kjer  $V$  predstavlja koeficiente  $x_0$  in  $r$  desno stran enačb 7. Običajno gre za zelo velik sistem enačb, ki ga rešimo iterativno.

$$\min_{x_0} \|V \cdot x_0 - r\|_2^2 \quad (8)$$

Pri neprekinjeni asimilaciji podatkov torej obravnavamo začetno stanje izbrane spremenljivke kot parameter, ki mora biti izbran tako, da je napaka med stanjem predvidenim z modelom in opazovanimi količinami minimalna znotraj celotnega časovnega okvirja. Postopek neprekinjene asimilacije podatkov je grafično prikazan na sliki 2.



Slika 2: Potek neprekinjene asimilacije podatkov (Walker in Houser 2005); črčkane črte predstavljajo potek modeliranega procesa v času, ko še nimamo na voljo vseh opazovanj znotraj izbranega časovnega okvirja, polna črta pa predstavlja končni potek modela. Črne pike so z modelom predvidena stanja, bele pike opazovanja in kvadrati stanja analize.

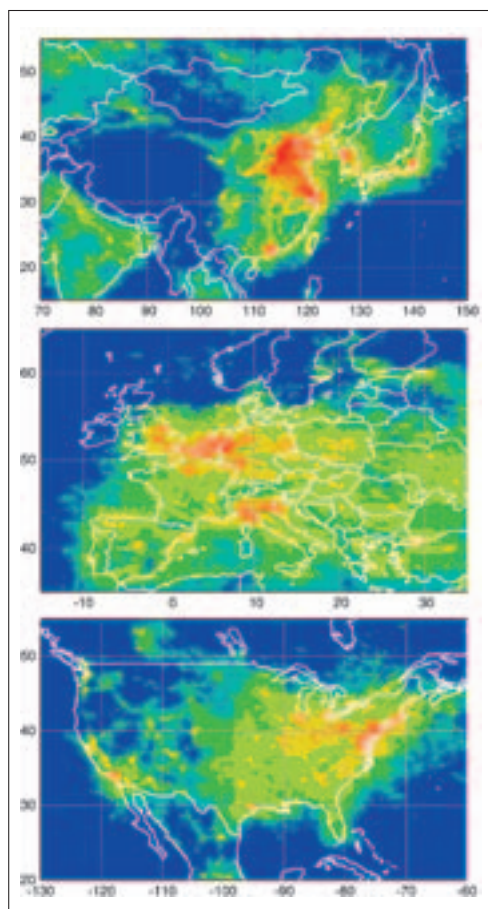
### 3 Uporaba asimilacije podatkov

V meteorologiji se za napovedovanje vremena že vrsto let uporabljajo numerični modeli, ki temeljijo na izbranih predpostavkah. Moderni numerični modeli so reda  $10^7$  prostostnih stopenj. Število klasičnih opazovanj pa je reda  $10^4$ , kar pomeni, da je kakovostna napoved nemogoča brez uporabe dodatnih informacij (Kalnay 2004). Te so v preteklosti zagotovile izkušnje meteorologov, dandanes pa lahko v ta namen uporabimo podatke daljinskega zaznavanja, s katerim lahko izbrane spremenljivke običajno ocenimo le posredno (Lorenz 1995). Asimilacija podatkov lahko uspešno obdelava vse podatke in poda ustrezne začetne pogoje numeričnemu modelu, na podlagi katerega je nato izdelana zanesljiva napoved vremena.

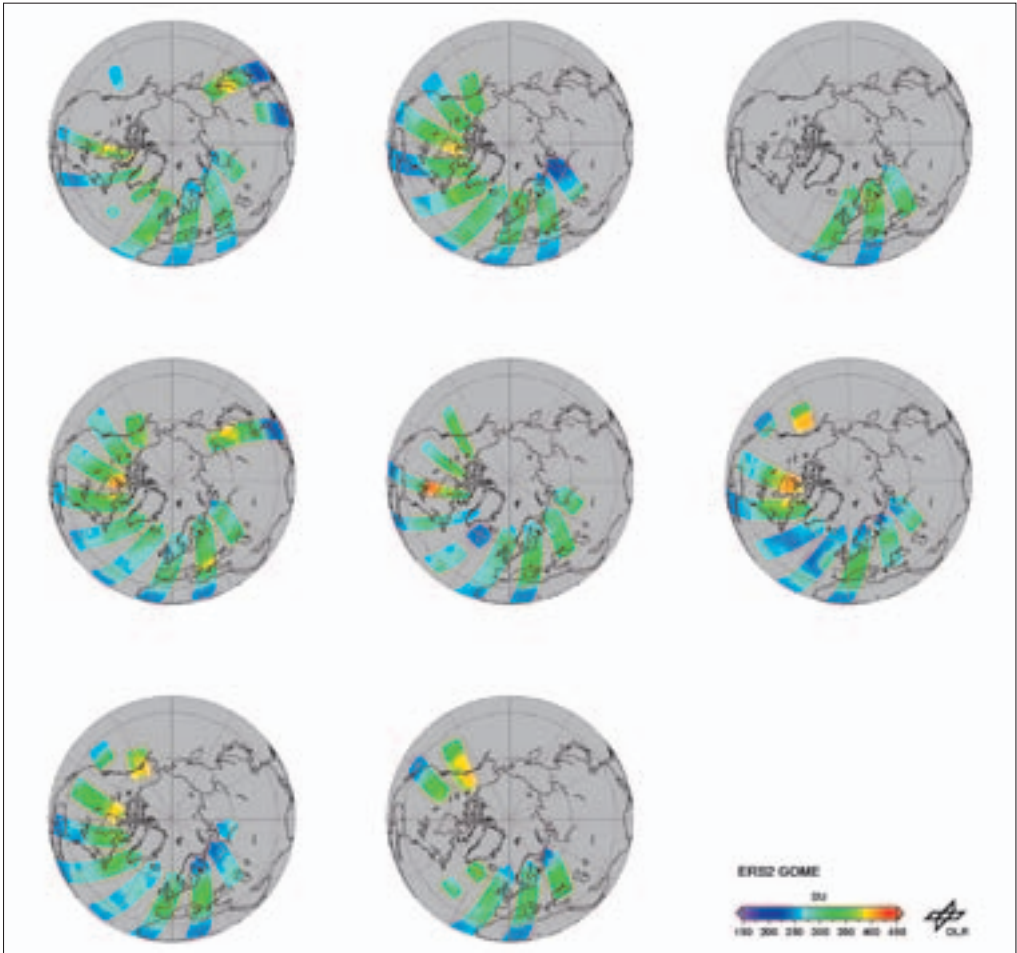
Tudi slovenski meteorologi na ARSO uporabljajo asimilacijo podatkov za napovedovanje vremena, poleg tega pa so dejavni pri njenem razvoju. Gregorič (2001) se je ukvarjal z asimilacijo radarskih

meritev globoke konvekcije. Pojem globoka konvekcija je v meteorologiji definiran kot proces, v katerem kot konvektivne celice nastopajo konvektivni oblaki, katerih vertikalna razsežnost zavzema večji del troposfere. To je mogoče, kadar je hitrost vzgornika v jedru konvektivnih oblakov primerno velika (presega  $1 \text{ ms}^{-1}$ ). Za objektivno ugotavljanje pojava posameznih konvektivnih oblakov in določanje njihovih razsežnosti so uporabljene meritve globoke konvekcije. Kraj in čas nastanka konvektivnega oblaka ter njegova razsežnost so za modeliranje razvoja vremena dragoceni, zato je kljub dosedanjim dosežkom potreben še nadaljnji razvoj v tej smeri.

Tudi na drugih področjih preučevanja atmosfere je asimilacija podatkov že nepogrešljivo orodje. Zanimive so npr. raziskave koncentracije plinov v atmosferi. Za kakovost zraka je zelo pomembna vsebnost dušikovega dioksida ( $\text{NO}_2$ ), ki nastaja tako pri zgorevanju fosilnih goriv, kot tudi med naravnimi procesi (npr. med udarom strele). Ta plin sodeluje pri nastanku ozona ( $\text{O}_3$ ). Je eden od povzročiteljev kislega dežja in je na splošno strupen. Zato je smiselno nadzorovanje njegovega deleža v atmosferi, saj lahko na ta način odkrijemo vzroke onesnaženja. Zaradi tega nemška agencija za zrak in vesolje (DLR; medmrežje 3) beleži in kartira koncentracije  $\text{NO}_2$ , za kar potrebuje podatke daljinskega zaznavanja (npr. senzor SCIAMACHY na krovu Envisata), ki jih nato z asimilacijo podatkov primerno interpretira. Slika 3 prikazuje onesnaženost z dušikovim dioksidom na Daljnem vzhodu, Evropi in Severni Ameriki.



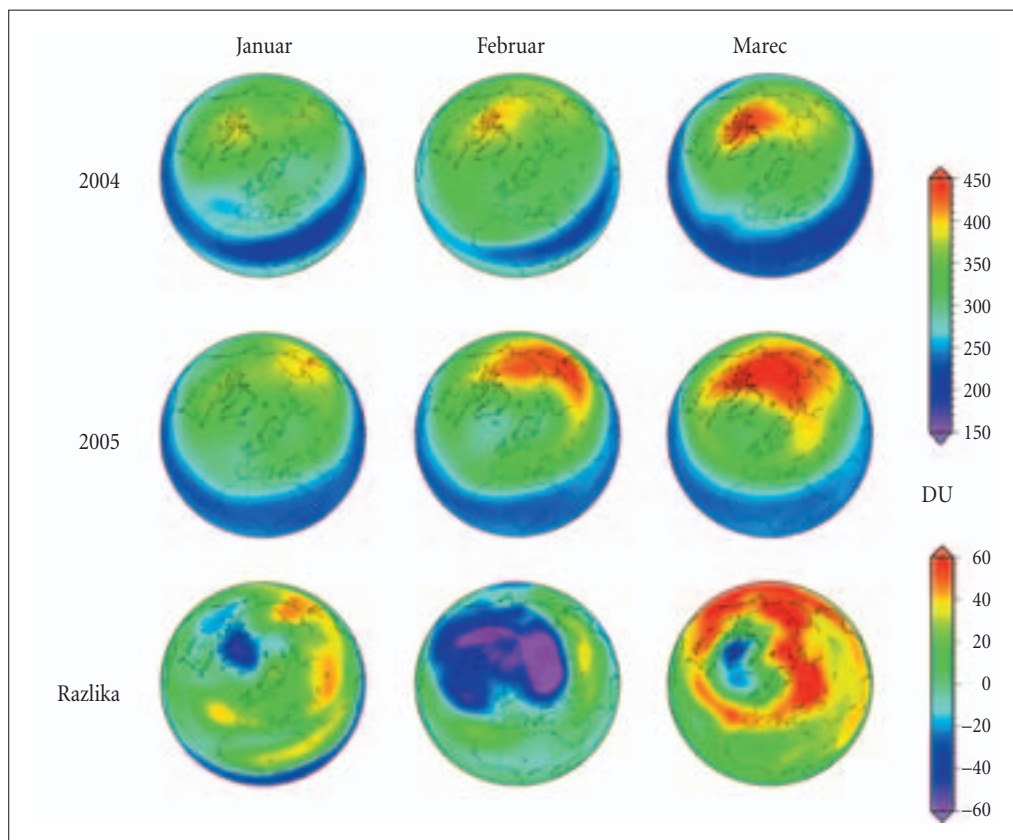
*Slika 3: Rezultati asimilacije koncentracije dušikovega dioksida na Daljnem vzhodu (vidna velika onesnaženost na vzhodu Kitajske), v Evropi in v Severni Ameriki v času od decembra 2003 do novembra 2004 (medmrežje 3); z modro barvo so označene nizke in z rdečo visoke koncentracije.*



Slika 4: Meritve senzorja GOME na krovu ERS2 za vsak drugi dan v drugi polovici novembra 2005; te podatke se nato asimilira v globalen model koncentracije ozona (medmrežje 2).

V zadnjih letih je predvsem v poletnih mesecih aktualna težava močno ultravijolično sevanje. Ozon ( $O_3$ ) je plin, ki je v večji koncentraciji prisoten v mezosferi, njegova pomembna lastnost pa je absorpcija ultravijoličnega sevanja. Zaradi antropogenih vplivov se koncentracija ozona spreminja, lahko pride celo do tako imenovane ozonske luknje, zato je nadzor njegove koncentracije zelo pomemben. V ta namen na DLR podatke, ki jih zagotavlja daljinsko zaznavanje (npr. GOME na krovu ERS2; slika 4), asimilirajo v model, imenovan ROSE, ki med drugim upošteva več kot 120 različnih kemičnih reakcij. Tako lahko v vsakem trenutku dokaj natančno vemo, kolikšna koncentracija ozona je v atmosferi (slika 5). Da pa imajo kaj od tega tudi laiki, lahko uporabijo spletno storitev, kjer glede na tip kože izvejo, koliko časa so lahko izpostavljeni Soncu (medmrežje 4; slika 6).

Prostorsko časovne analize imajo širok krog uporabnikov, zato je bila asimilacija podatkov uspešno uporabljena tudi na drugih področjih ne glede na svoj meteorološki izvor. Naštujemo nekaj primerov. Oceanologi so imeli še pred nekaj deset leti na voljo premalo podatkov, da bi jih bilo sploh smiselno združevati v homogene sloje, a se je stanje močno popravilo z razvojem daljinskega zaznavanja. Dan-

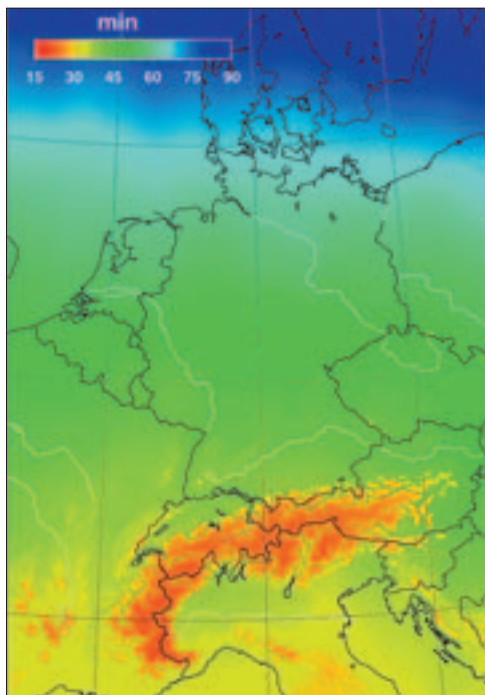


Slika 5: Koncentracijo ozona lahko z asimilacijo podatkov določimo za izbrano časovno obdobje. Da bi bolje razumeli spremembe koncentracije, lahko posamezna obdobja povprečimo in primerjamo med seboj (medmrežje 3).

danes so oceani nadzorovani s senzorji, nameščenimi na satelith, ki lahko dokaj podrobno podajo lastnosti morske vode (Robinson in ostali 1998). V kombinaciji s klasičnimi meritvami lahko napovemo višino plime, predvidimo koncentracijo planktona itd.

Asimilacija podatkov je bila v zadnjem desetletju uporabljena tudi v hidrologiji (Walker in Houser 2005). Z uporabo enodimenzionalnega Kalmanovega filtra je mogoče v roku enega meseca dovolj natančno napovedati vlažnost prsti, kar npr. poveča tudi kakovost ocene evapotranspiracije ali vodnega odtoka. Z asimilacijo podatkov so bile uspešno ocenjene tudi lastnosti snežne odeje. Struktura ali temperatura snega imata namreč velik vpliv na vodni odtok. Hidrologi se med drugim ukvarjajo še z erozijo, ki je zaradi nepremišljenih posegov v naravo posebej pereča težava v slabše razvitih državah (medmrežje 1). Ker je na teh območjih malo meritev, je asimilacija podatkov v kombinaciji s podatki daljinskega zaznavanja najboljša metoda za oceno erozije in njenih posledic.

Asimilacija podatkov še ni standardna metoda v seizmologiji, kljub temu pa gre za metodo, na katero lahko računamo pri napovedovanju potresov (Donnellan in drugi 2004). Numerični model, na katerem temelji sistem napovedovanja procesov, temelji na (predvsem gradbenikom znani) metodi končnih elementov. Model uporablja tako podatke iz arhivov o preteklih potresih, kot tudi podatke o spremembah površja, ki jih podajo InSAR senzorji, neprekinjena GPS opazovanja na geodetskih točkah itd.



Slika 6: Čas izpostavljenosti Soncu preden pride do opeklin v zimskem času na območju srednje Evrope za tip kože 2 (medmrežje 3, 4).

## 4 Sklep

Namen tega članka ni razlaga skrivnosti asimilacije podatkov, zato tudi niso razloženi pojmi kot Kalmanov filter, optimalna interpolacija itd. Napisan je kot spodbuda slovenskim GIS-strokovnjakom, da se ozrejo tudi po zahtevnejših prostorskih in časovnih analizah. V preteklih letih smo bili v Sloveniji priča mnogim zanimivim aplikacijam, ki pa so povečini temeljile na zelo preprosti matematiki. Za uspešno uporabo tehnologije GIS je treba vedeti več, kot le poznati gumbe v GIS programskega paketa, a veliko slovenskih uporabnikov GIS žal ne ve, kakšen algoritem je uporabljen npr. za izračun naklona ploskve. Do sedaj je na področju prostorskih analiz nekaj več matematike pokazal samo Podobnikar (1998) z uporabo metode Monte Carlo.

Potencial asimilacije podatkov kot metode v tehnologiji GIS je pomemben, saj omogoča organizacijo podatkov z objektivno interpolacijo, dopolnitev podatkov z implicitnimi omejitvami, ki jih podaja modeliran proces, in kontrolo podatkov s primerjavo predvidenih stanj in dejanskih opazovanj (Walker in Houser 2005). Metoda ima seveda tudi svoje omejitve – je izrazito matematično-numerična metoda interpolacij v več iteracijah, ki za svoje delovanje nujno potrebuje numerični model, s katerim lahko opišemo kratkoročne spremembe. Numerični model lahko uspešno uporabimo tudi za napoved modeliranega procesa v bolj oddaljeni prihodnosti, vendar potrebujemo še dodatne podatke, ki jih zagotavlja predvsem daljinsko zaznavanje.

Asimilacija podatkov je torej zelo zmogljiva metoda, ki jo je možno uspešno uporabiti tudi v orodjih GIS. Vprašanje je le, kdaj jo je smiselno uporabiti, kajti zahteva veliko sredstev: matematično usposobljen kader, primerno strojno in programsko opremo – pravzaprav zahteva vzpostavitev popolnoma novega sistema GIS. Zato je uporaba asimilacije podatkov zaenkrat upravičena le, kadar imamo opravka z dinamičnim procesom, ki ga ne znamo predstaviti drugače kot z zapletenim numeričnim modelom.

## 5 Viri in literatura

- Donnellan, A, Rundle, J., Geoffrey F., McLeod, D., Grant, L., Tullis, T., Pierce, M., Parker, J., Lyzenga, G., Granat, R., Glasscoe, M. 2004: QuakeSim and the Solid Earth Research Virtual Observatory. Special Issue of Pure and Applied Geophysics (Bejing ACES Meeting). Peking (Kitajska).
- Ghil, M. 2000: The Essence of Data Assimilation, or Why Combine Data with Models? Proc. 3rd WMO Int'l Symp. Assimilation of Observations in Meteorology & Oceanography. Ženeva (Švica).
- Gregorič, G. 2001: Asimilacija radarskih meritev globoke konvekcije v numerični model v mezo- $\beta$  skali. Doktorska naloga, Fakulteta za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Kalnay, E. 2004: Atmospheric modeling, data assimilation and predictability. Cambridge (Velika Britanija).
- Kanevski, M., Maignan, M. 2004: Analysis and modelling of spatial environmental data. Lozana (Švica).
- Lorenc, A. C. 1995: Atmospheric Data Assimilation. Didaktično gradivo, Forecasting Resaearch Meteorological Office. Bracknell (Velika Britanija).
- Medmrežje 1: <http://www.cig.ensmp.fr/čiahs/sapporo/HS01long.htm> (18. 5. 2006).
- Medmrežje 2: [http://wdc.dlr.de/data\\_lib/](http://wdc.dlr.de/data_lib/) (18. 5. 2006).
- Medmrežje 3: <http://www.tagderraumfahrt.de/dlr/news/sciamachy/> (18. 5. 2006).
- Medmrežje 4: <http://www.uv-check.com/> (18. 5. 2006).
- Nichols, N. K. 2003: Data assimilation: aims and basic concepts. Data Assimilation for the Earth System, Proceedings of the NATO Advanced Study Institute. Berlin (Nemčija).
- Podobnikar, T. 1998: Monte Carlo simulacije napak digitalnega modela višin. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1997–1998. Ljubljana.
- Robinson, A. R., Lermusiaux, P. F. J., Sloan, N. Q. 1998: Data assimilation. The Global Coastal Ocean, Processes and Methods, The Sea Vol. 10. New York (ZDA).
- Walker, J. P., Houser, P. R. 2005: Hydrologic Data Assimilation. Advances in Water Science Methodologies. Leiden (Nizozemska).



## IZDELAVA ORTOPODOB IZ SATELITSKIH POSNETKOV

**Žiga Kokalj in dr. Kristof Oštir**

*Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU*

*Novi trg 2, 1000 Ljubljana*

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

**Aleš Marsetič**

*Spodnje Škofije 64, 6281 Škofije*

*alesmars@hotmail.com*

UDK: 528.71.8

### IZVLEČEK

#### **Izdelava ortopodob iz satelitskih posnetkov**

V prispevku je predstavljena izdelava ortopodob iz stereopara pankromatskih in multispektralnih posnetkov satelita SPOT. Podan je opis visokoločljivih satelitskih sistemov in teoretičnih osnov digitalne fotogrametrične obdelave. Prikazan je postopek – digitalne samodejne ortorektifikacije v programu OrthoBASE. Preučene so možnosti uporabe srednjeločljivih podob slabše kakovosti, ki predstavljajo gorata področja, za izdelavo ortopodob in digitalnih modelov višin. Natančnost ortopodob je ugotovljena s primerjavo z digitalnimi ortofoti. Dobljene ortopodobe so zelo dobre in kažejo na kvalitetno obdelavo. Vhodne podobe slabe kvalitete pa niso primerne za generiranje digitalnih modelov višin, katerih izdelava je močno odvisna od samodejne korelacije.

### KLJUČNE BESEDE

*visokoločljivi satelitski posnetki, satelitska fotogrametrija, ortorektifikacija, digitalni model višin, natančnost*

### ABSTRACT

#### **Orthoimage generation from satellite imagery**

*In the paper, the generation of the orthoimages from a stereopair of panchromatic and multispectral SPOT satellite imagery is presented. A description of the high-resolution satellite systems and the theoretical bases of the digital photogrammetric processing are given. The digital automatic orthorectification techniques in OrthoBASE is shown. The possibilities of the application of the mid-resolution images of lower quality, covering mountainous regions, for the generation of orthoimages and digital elevation models are examined. The accuracy of the ortho data has been determined by comparing with the digital orthophotos. The resulting images are very good and show good treatment. However, low quality imagery is not suitable for the generation of digital elevation models, which depend heavily on automatic image matching.*

### KEYWORDS

*high-resolution satellite imagery, satellite photogrammetry, orthorectification, digital elevation model, accuracy*



## 1 Uvod

Satelitski posnetki postajajo vedno pomembnejši vir podatkov o zemeljski površini. Z njimi lahko pridobivamo podatke o pokrovnosti in rabi tal, opazujemo spremembe zaradi človekove aktivnosti in naravnih pojavov, spremljamo nesreče, opazujemo toplotno onesnaženje, načrtujemo posege v prostor, in podobno. Visokoločljivi posnetki – to je taki z ločljivostjo velikostnega reda enega metra – postajajo zelo pomemben vir podatkov za izdelavo in posodabljanje kart, še posebej na območjih, ki so zaradi najrazličnejših pogojev (tudi političnih) težje dostopna. Z njimi lahko ustvarjamo običajne ali satelitske karte velikih meril (do 1 : 5000). Ker gre za rastrske podatke, jih lahko vključimo v geografski informacijski sistem, bodisi kot samostojen sloj ali prek interpretiranih kart.

Satelitski posnetki visoke ločljivosti trenutno dosegajo ločljivost 0,61 m (QuickBird pri snemanju navpično), kar je le nekoliko slabše od digitalnih ortofoto posnetkov, ki jih ponuja Geodetska uprava Republike Slovenije (ločljivost 0,5 m). Poleg visoke pankromatske ločljivosti ima večina tovrstnih sistemov tudi večspektralni senzor, s praviloma nekajkrat manjšo ločljivostjo (QuickBird 2,44 m pri snemanju navpično) (Kramer 2002). V velikostnem redu enega metra obstajajo še posnetki Ikonos in OrbView-3 (pankromatsko 1 m, večspektralno 4 m), nekoliko slabšo ločljivost pa imajo EROS-1A (1,8 m), IRS-1C/D (5,8 m), IRC-P5 (z drugim imenom Cartosat 1, 2,5 m) in SPOT (2,5 oziroma 5 m). Večina omenjenih satelitov ima podobe, ki so opremljene s podatki o snemalnem sistemu in letu satelita, kar omogoča ortorektifikacijo. Satelitsko opazovanje še posebej prekaša klasično letalsko fotografijo, če upoštevamo zapletene postopke, ki jih je potrebno urediti pri preletih letal, zlasti v tujih državah, kjer je lahko politična situacija zelo nepredvidljiva.

Podobe satelitskih sistemov so komercialno dosegljive, kar pomeni, da jih lahko kupi vsakdo in za vsak namen. Nekateri ameriški ponudnik podob sicer imajo posebne pogodbe z (ameriško) vojsko, vendar pa ta večinoma ne izključuje prodaje posnetkov tujim državam. Arhivi posnetkov so odvisni od sistema do sistema, glavna značilnost visokoločljivih satelitov pa je, da snemanje ni sistematično. Za razliko od, recimo, Landsata, ki sistematično zajema celotno zemeljsko površje, ti sateliti snemajo le po naročilu oziroma v skladu s predvideno prodajo. Območja gostejše poselitve, velikega interesa javnosti (nesreče, konfliktna območja), medijev in različnih organizacij snemajo pogosteje, drugih pa sploh ne. Prav zaradi manjše pokritosti pa je cenovno ugodno tudi novo snemanje, saj je le približno četrtno dražje od arhivskih podob.

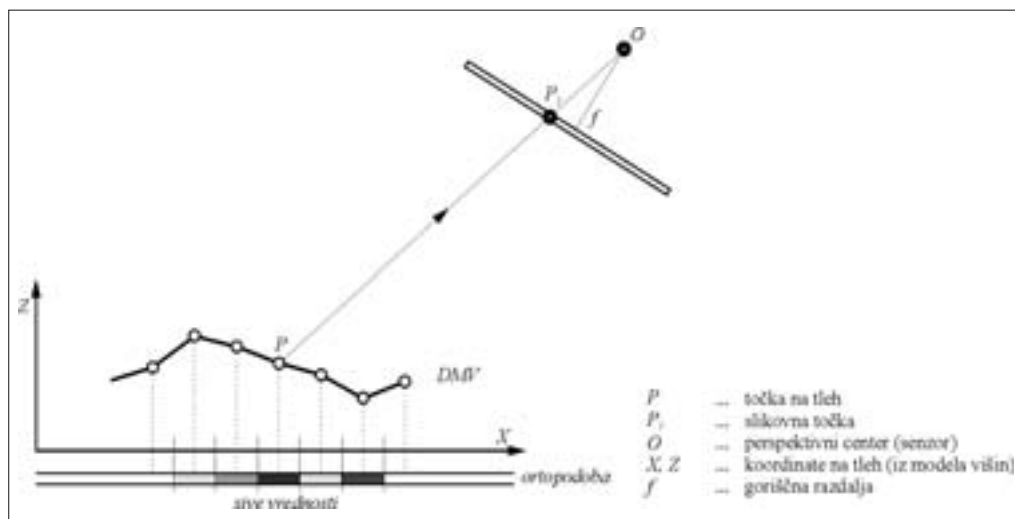
## 2 Ortorektifikacija

Ortorektifikacija je proces zmanjševanja geometričnih napak, ki nastanejo na podobah daljinskega zaznavanja. Najpogostejši razlogi za geometrične napake so (Leica 2003, 60 in 61):

- orientacija senzorja,
- sistematične napake senzorja,
- premik zaradi izoblikovanosti površja in
- ukrivljenost Zemlje.

Parametre orientacije senzorja dobimo s triangulacijo bloka ali resekcijo posameznega posnetka. Z metodo najmanjših kvadratov med procesom triangulacije lahko zmanjšamo napake, ki so povezane z nestabilnostjo senzorja. Z izbiro primerne opcije se v procesu triangulacije upošteva in odpravi učinek ukrivljenosti Zemlje, ki je bolj opazen kadar obdelujemo blok podob ali satelitske slike velikega območja. Učinek premika zaradi razgibanosti površja pa odstranimo z upoštevanjem modela višin med procesom ortorektifikacije.

Po ortorektifikaciji je vsaka celica dobljene podobe »geometrično zanesljiva«. To pomeni, da so meritve na ortopodobi praktično enake meritvam na zemeljski površini. Vsaka točka v podobi je videti, kot bi jo gledali iz položaja, ki je točno nad njo oziroma pravokotno na Zemljo (Marsetič 2005, 52).



Slika 1: Geometrija ortorektifikacije.

Premik zaradi razgibanosti površja se odpravi tako, da vsaki celici na modelu reliefa pripišemo ustrezno celico na satelitski podobi. Sivinska vrednost te lokacije je določena s prevzorčenjem sosednjih celic. Izračun ustrezne lokacije na ortopodobi temelji na sivinski vrednosti, višini in podatkih o zunanji orientaciji senzorja.

V nasprotju s klasičnimi tehnikami rektifikacije, ortorektifikacija temelji na podatkih o višinah. Obstaja mnogo virov digitalnih modelov višin, ki so zaradi postopkov izdelave in generalizacije podvrženi različnim stopnjam negotovosti, kar zelo vpliva na kakovost izdelanih ortopodob. Raznovrstni slikovni podatki potrebujejo modele višin različnih stopenj natančnosti, saj je le tako mogoče omejiti napake povezane z negotovostjo v nadzorovanih mejah. Za ortorektifikacijo satelitskih posnetkov so zelo primerni modeli višin izdelani iz stereo posnetkov istega satelitskega sistema, zlasti kadar ortorektificiramo same stereo posnetke. Model višin je mogoče iz posnetkov izdelati le, če sta na voljo dve ali več prekrivajočih se podob. Pred začetkom samodejne izdelave, morajo biti znane informacije o notranji in zunanji orientaciji senzorja. Postopek povezan s samodejno izdelavo modela višin lahko razdelimo na naslednje tri korake (Leica 2003, 66):

- digitalna slikovna korelacija,
- določitev koordinat točk na površju in
- izdelava modela višin.

Pomembno vlogo pri izdelavi kakovostnega modela višin ima že izbira podob, ki jih nameravamo uporabiti. Krupnik (2000) in Toutin (2003) priporočata naj imata podobi (stereopar), iz katerih izdelujemo model višin, naslednje lastnosti:

- posneti naj bi bili ena za drugo v najkrajšem času (enako stanje objektov na podobah in enake svetlobne razmere),
- imeti morata čim večje prekrivanje,
- razmerje med bazo in višino ( $B/H$ ) naj bo okoli 1, nikoli pa manjše od 0,5,
- stereopar naj bo sestavljen bodisi iz pankromatskih bodisi iz multispektralnih podob,
- podobi naj imata enako prostorsko ločljivost,
- podobi naj bosta brez oblakov in drugih motečih pojavov,
- sence naj bodo čim krajše in
- podobi naj imata enako stopnjo predobdelave.

Kakovost in natančnost modela višin sta odvisni še od naslednjih dejavnikov (Infoterra 2005):

- prostorske ločljivosti senzorja,
- radiometrične kakovosti podob,
- pokrovnosti območja zanimanja in
- natančnosti kontrolnih točk za geokodiranje podob.

Glede na število posnetkov, ki jih obdelujemo naenkrat, poznamo dve vrsti ortorektifikacije (Leica 2003), in sicer ortorektifikacijo posameznega posnetka in bločno triangulacijo.

Ortorektifikacija posameznega posnetka uporablja tehniko imenovano resekcija prostora. Pri tem za vsak posnetek potrebujemo vsaj tri kontrolne točke; za ortorektifikacijo 50 posnetkov, na primer, potrebujemo vsaj 150 kontrolnih točk. Pri tem moramo točke določiti in izmeriti ročno za vsak posnetek posebej. Nato tehnika prostorske resekcije izračuna orientacijo in lokacijo senzorja v času snemanja. Te informacije skupaj z modelom višin uporabimo za izločitev geometričnih napak. Pri tem ne upoštevamo dodatnih spremenljivk povezanih s sistematičnimi napakami.

Ortorektifikacijske tehnike posameznih posnetkov za zmanjšanje in porazdelitev napak, povezanih s kontrolnimi točkami, meritvami slike, modelom višin in informaciji o senzorju, ne upoštevajo notranjih razmerij med sosednjimi podobami v bloku. Zato v postopku mozaičenja pogosto prihaja do napak v poravnavi sosednjih podob, saj napake niso bile zmanjšane in prerezporejene po celotnem bloku.

Bločna triangulacija je proces osnovanja matematičnega razmerja med podobami uporabljenimi v projektu, modelom senzorja in tlemi. Informacije pridobljene iz triangulacije so potrebne kot vhodni podatek za ortorektifikacijo in izdelavo modela višin. Bločna triangulacija nudi naslednja tri osnovna opravila.

- Določitev lege in orientacije vsake podobe v projektu v času snemanja. Tako določene kazalce imenujemo zunanji kazalci (parametri) orientacije. Za njihovo določitev potrebujemo vsaj tri kontrolne točke za celoten blok, neodvisno od števila podob v projektu.
- Določitev talnih koordinat veznih točk ročno ali samodejno izmerjenih na prekrivajočih se območjih več podob. Zelo natančna določitev talnih koordinat veznih točk je uporabna za pridobivanje kontrolnih točk iz podob, zaradi česar ni potrebe po terenskih meritvah. Nadalje, če se pridobi veliko število kontrolnih točk, lahko interpoliramo model višin.
- Minimiranje in porazdelitev napak povezanih s podobami, merjenjem podob, kontrolnimi točkami in podobnim. Bločna triangulacija obdela informacije celotnega bloka posnetkov v eni sočasni rešitvi, v kateri s statističnimi tehnikami samodejno najde, porazdeli in odpravi napake.

Ker so podobe obdelane v enem koraku, so tako rešene zadrege s poravnavo podob pri mozaičenju.

Ganas in drugi (2002) utemeljujejo, da pri ortorektifikaciji posnetkov, ki prikazujejo zemeljsko površje z majhno reliefno amplitudo, zadostuje model višin s prostorsko ločljivostjo okrog 20 m, višinsko natančnostjo 10 m in planimetrično natančnostjo 25 m. Poudarjajo tudi vpliv spretnosti operaterja na natančnost rešitve, zaradi težav pri pravilni izbiri celic. Passini in Jacobsen (2004, 6) sta bolj specifična. Ugotavljata, da je za zagotovitev določene natančnosti končne ortopodobe, dovoljena natančnost uporabljenega modela višin obratno sorazmerna tangensu kota snemanja podobe, kar ponazarjata naslednji enačbi in preglednica. Z enačbo 1 izračunamo sprejemljivo standardno deviacijo vpliva modela višin na planimetrično natančnost ortopodobe.

$$SX_{xz} = \sqrt{SX_{orto}^2 - SX_o^2} \quad (1)$$

Kjer je  $SX_{xz}$  dovoljena napaka komponente kot funkcija  $SZ$ ,  $SX_{orto}$  standardna deviacija ortopodobe in  $SX_o$  standardna deviacija orientacije. Sprejemljiva standardna deviacija višine modela višin za izdelavo ortopodob je

$$SZ_{sprejemljiva} = \frac{SX_{xz}}{\tan \eta} \quad (2)$$

pri čemer je  $\eta$  kot snemanja.

Preglednica 1: Natančnostne zahteve za model višin kot funkcija kota snemanja za različne natančnosti ortopodob (Passini in Jacobsen 2004, 6).

	QuickBird		Ikonos
velikost celice ortopodobe	0,6 m	1,0 m	1,0 m
$S_{orto}$	1,2 m	2,0 m	2,0 m
kot snemanja $\eta$	SZ <sub>sprejemljiva</sub> [m]		
5°	12,1	21,7	19,8
10°	5,7	10,8	9,8
15°	4,0	7,1	6,5
20°	2,9	5,2	4,7
25°	2,3	4,1	3,7
30°	1,8	3,3	3,0
35°	1,5	2,7	2,5
40°	1,3	2,3	2,1
45°	1,1	1,9	1,7

### 3 Izdelava ortopodob iz satelitskih posnetkov SPOT

V okviru testne študije smo opravili izdelavo ortopodob iz srednjeločljivih satelitskih posnetkov SPOT. Gre za klasično procesiranje po načelih digitalne fotogrametrije, sam postopek pa je prilagojen satelitskim podobam, ki so bile pridobljene z metodo vzdolžnega skeniranja.

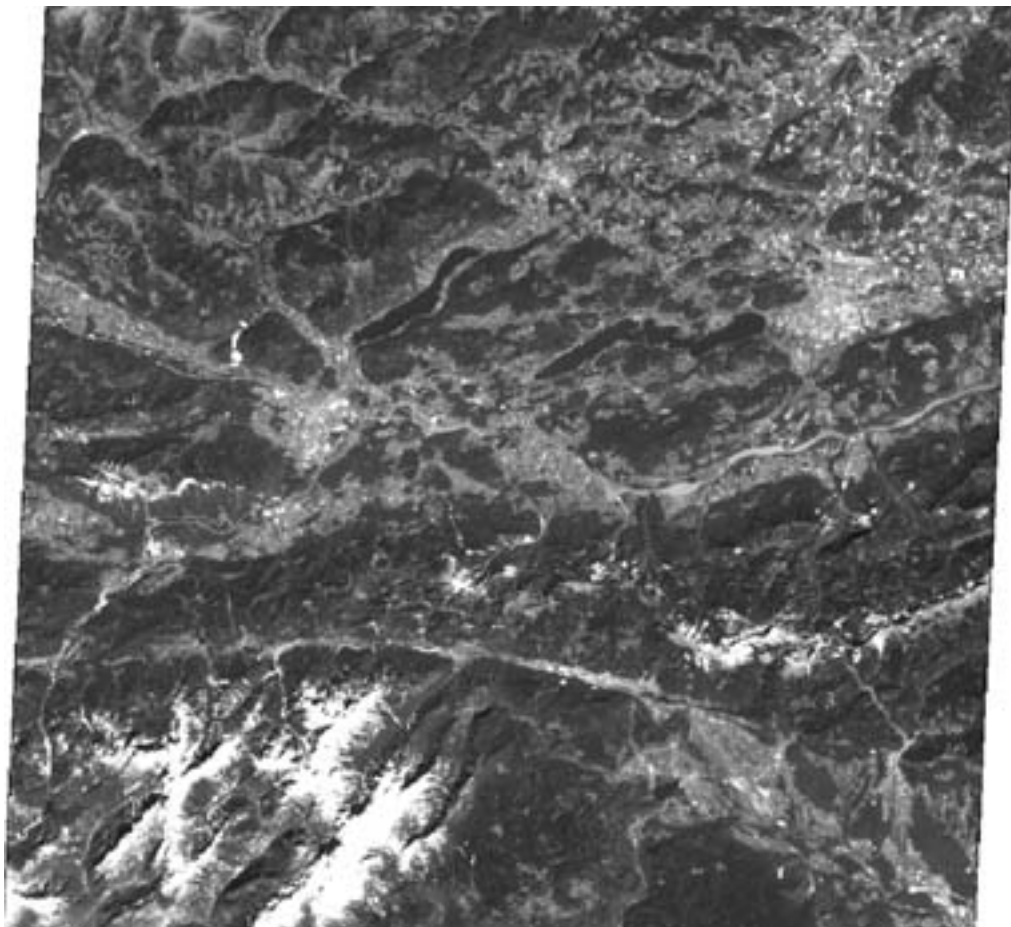
#### 3.1 Podatki

Ortopodobe smo izdelali iz dveh multispektralnih in dveh pankromatskih podob SPOT. Pankromatski podobi sta imeli ločljivost 10 m, multispektralni pa 20 m. Posnetki so bili dobljeni leta 2000 in so služili za spremljanje plazu pri Logu pod Mangartom. Vse podobe obsegajo približno isti del površja (J del Avstrije, SV del Italije in slovenski del Julijskih Alp, del Karavank ter Pokljuko) in so radiometrično ter geometrično popravljene. Prvi dve podobi sta zaradi oblakov, dolgih senc in slabega delovanja detektorjev vidno slabše kvalitete.

Poleg ortopodob smo iz stereoparov posnetkov izdelali tudi digitalne modele višin, čeprav podob temu niso bile namenjene. Zaradi tega tudi ne izpolnjujejo vseh pogojev, ki so potrebni za dober stereopar. Poleg slabih kakovosti podob in dolgih časovnih razmakov med snemanji stereoparov, je najbolj problematično slabo razmerje med bazo in višino leta, ki naj bi znašalo približno ena ( $B/H \approx 1$ ). Pri uporabljenem pankromatskem stereoparu znaša  $B/H = 0,17$ , pri multispektralnem stereoparu pa samo  $B/H = 0,11$ . Dobljeni modeli višin so bili slabi in povsem neuporabni, zato se z njimi v nadaljevanju rispevka ne bomo ukvarjali.

#### 3.2 Triangulacija pankromatskega stereopara

Za izdelavo ortopodob smo uporabili digitalni fotogrametrični program Erdas Imagine OrthoBASE. Program uporablja bločno izravnavo s snopi in korakoma vodi uporabnika skozi vse faze izdelave, od definiranja bloka do ortorektifikacije in morebitne ekstrakcije modela višin. Sam proces je skoraj v celoti samodejen, kljub temu pa je za kakovostne rezultate potreben izkušen operater.



*Slika 2: Primer surove pankromatske podobe SPOT.*

Preden začnemo kakršnokoli fotogrametrično delo (s programom OrthoBASE ali kakim drugim), moramo najprej definirati blok. Blok je termin, ki se uporablja za določanje in opisovanje vseh informacij, ki so povezane s fotogrametričnim projektom, kot so: projekcija, elipsoid, datum; podobe; informacije o modelu senzorja; oslonilne točke; zveza med podobami in terenom (Leica 2003, 265). Podobam se izdelava še slikovne piramide, dodatne sloje s podatki slabše ločljivosti. Piramidni sloji so uporabni pri slikovni korelaciji, ki se uporablja pri samodejnem določanju veznih točk in samodejni izdelavi modela višin, povečavi podob, premikanju po podobi itd.

Naslednji korak je definiranje modela senzorja, s katerim določimo snemanja v času zajema podobe. To vključuje notranje modeliranje senzorja (notranja orientacija) in določanje zunanje geometrije uporabljenega senzorja (zunanja orientacija). Pri podobah SPOT je proces notranjega modeliranja senzorja enostaven in pogosto vključuje le preverjanje parametrov senzorja, ki se naložijo iz glave datoteke. Izbrati moramo le stopnjo polinoma za parametre zunanje orientacije, ki se bo uporabljala v procesu triangulacije. Nekoliko obsežnejša je zunanja orientacija, ki vključuje določitev oslonilnih in veznih točk ter triangulacijo. Natančno razmerje med podobami, senzorjem in površjem se lahko določi in zagotovi samo z uporabo oslonilnih točk.

Na pankromatskem stereoparu smo določili 17 oslonilnih točk, ki so bile dokaj enakomerno porazdeljene po celem območju. Točke ponavadi predstavljajo križišča cest, v visokogorju pa tudi stičišča melišč. Pri tem smo uporabili samo ozka melišča, ki so bila dobro vidna na obeh podobah. Le z njihovo uporabo lahko oslonilke enakomerno razporedimo po celotnem območju, saj je bila zaradi slabe kakovosti podob večina cest slabo prepoznavnih. Horizontalne koordinate točk so bile zajete iz DOF5, višina pa iz InSAR DMV25. Vezne točke so bile večinoma dobljene s samodejno slikovno korelacijo. Na področjih, kjer ta ni uspela, jih je bilo potrebno izmeriti ročno, s čimer smo dobili skupno 78 veznih točk.

Po določitvi veznih točk je mogoča triangulacija. Za prikaz natančnosti koordinat kontrolnih točk smo uporabili RMSE (ang. Root Mean-Square Error), neke vrste generalizirano standardno deviacijo, ki je običajno merilo za podajanje absolutne natančnosti triangulacije. Rezultati absolutne natančnosti v horizontalnih koordinatah so sicer dobri, ne pa odlični. Nekoliko natančnejša je koordinata Y. Pri tem pa je potrebno upoštevati, da rezultati vsebujejo tudi napake merjenja in vira, ki je bil podlaga za določanje koordinat kontrolnih točk. Zaradi tega je realna natančnost bloka boljša (velikosti piksla ali manj). Bistveno slabša je višinska koordinata, saj je približno štirikrat večja od ostalih. Ker je bilo obravnavano območje gorato, je bil tak rezultat tudi pričakovan. Na natančnost vpliva tudi razmerje B/H, ki je bilo v našem primeru slabo (Marsetič 2005, 42).

*Preglednica 2: RMSE posameznih koordinat kontrolnih točk (pankromatski stereopar).*

		RMSE
Terenska koordinata	X	18,8 m
	Y	14,2 m
	Z	75,3 m
Slikovna koordinata	x	0,1 piksla
	y	0,3 piksla

### 3.3 Triangulacija multispektralnega stereopara

Postopek je tudi v tem primeru skoraj enak kot pri pankromatskem stereoparu, razlike so le v podatkih, parametrih in rezultatih. Pri multispektralnem stereoparu je bilo uporabljenih manj oslonilnih (12) in veznih točk (55). Slaba druga podoba je tudi razlog za manjše število točk, saj lahko s slabimi meritvami le zmanjšamo natančnost triangulacije. RMSE terenskih in slikovnih koordinat za oslonilne točke je bil v končnem rezultatu boljši kot pri pankromatski izravnavi, za RMSE kontrolnih točk pa lahko rečemo, da je celo veliko boljši od pankromatskih. Trdimo lahko, da so rezultati odlični, kar velja posebno za koordinati X in Y. Koordinata Z je sicer nekoliko slabša, vendar še vedno zadovoljiva.

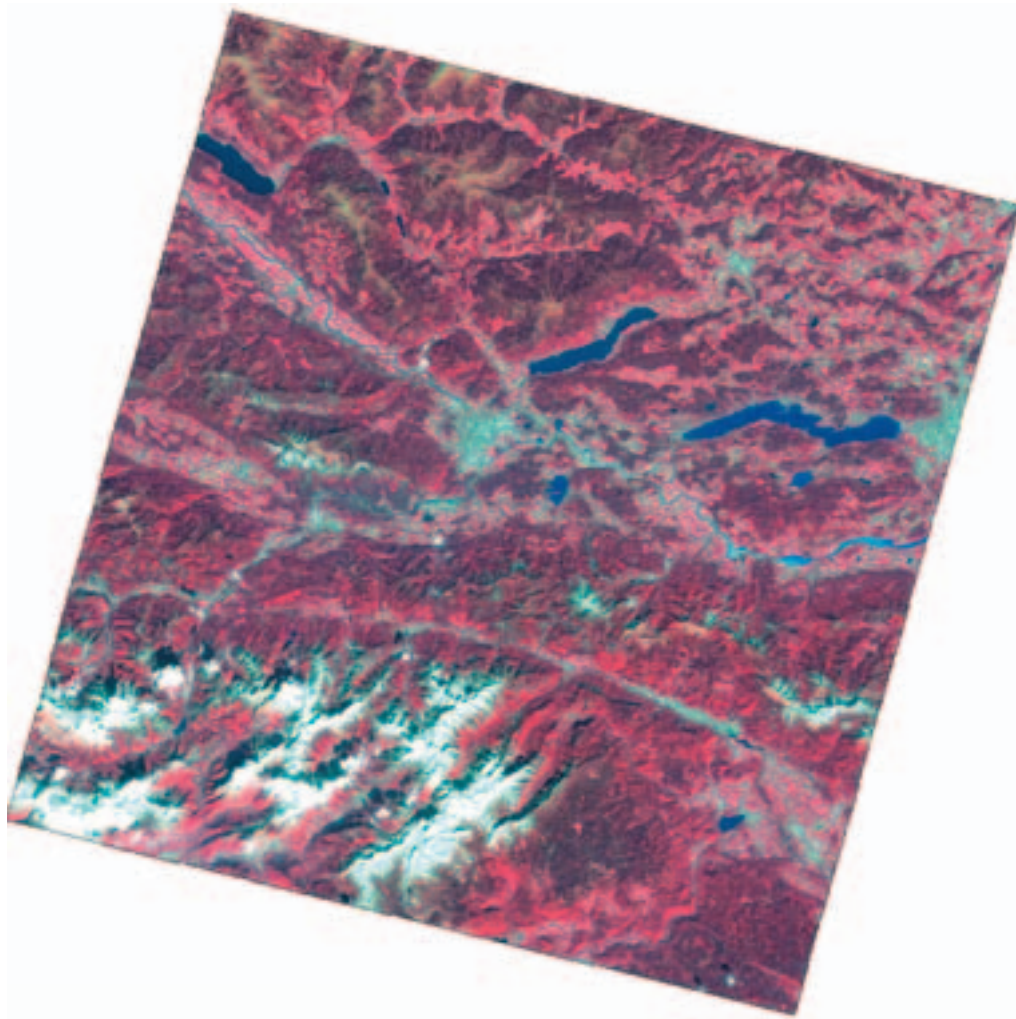
*Preglednica 3: RMSE posameznih koordinat kontrolnih točk (multispektralni stereopar).*

		RMSE
Terenska koordinata	X	7,2 m
	Y	3,4 m
	Z	56,9 m
Slikovna koordinata	x	0,04 piksla
	y	0,1 piksla

### 3.4 Izdelava ortorektificiranih podob

S triangulacijo smo stereoparoma določili notranjo in zunanjo orientacijo ter jih s tem pripravili za ortorektifikacijo. V programu OrthoBASE gre pri tem za enostaven, interaktiven proces, pri katerem določimo izhodne podatke in razne parametre, ki ga vodijo. Velikost celic (glede na original) nismo spreminjali, za metodo prevzorčenja pa smo izbrali bilinearno interpolacijo. Program priporoča uporabo modela višin, ki pokriva celotno območje uporabljenih podob. V ta namen smo uporabil DMV, ki poleg območja Slovenije vsebuje tudi južno Avstrijo in vzhodno Italijo. DMV ima ločljivost 25 m in je dovolj natančen za srednjeločljive posnetke z majhnim kotom snemanja.

Ortorektificirane in »surove« podobe so si zelo podobne. Največji vidni razliki sta zasuk podob v desno in neraven, rahlo valovit rob. Manjše razlike v konfiguraciji terena so vidne le v večjih povečavah in pri razgibanem terenu. Skladnost z resničnostjo je podrobneje opisana v naslednjem podpodglavju.



Slika 3: Primer ortorektificirane multispektralne podobe.

### 3.5 Položajna natančnost ortorektificiranih podob

Položajno natančnost ortopodob smo preverili glede na digitalni ortofoto. Uporabili smo DOF5, ki ima položajno natančnost  $\pm 1$  m in piksele velikosti 0,5 m, kar je vsekakor primerna referenca za ortopodobe s piksli velikosti 10 m ali 20 m.

Vsako podobo smo razdelili na več podobmočij, ki so vsebovala le en tip oblike površja (gorovje, dolino, planoto itd.). Skupno smo na vsaki podobi posebej izmerili približno 100 točk in jih primerjali z ortopodobami. Zaradi pomanjkanja značilnih objektov sem izpustil vsa štiri gorata območja in Mežaklo (podobmočja smo poimenovali po dolinah, planotah, najvišjih vrhovih, mestih itd.).

Iz dobljenih razlik po obeh koordinatah smo izračunali skupno odstopanje (razdaljo) med pravim in dobljenim položajem primerjanih točk za celotno podobo in posamezne skupine. Skupno odstopanje smo dobili z enačbo

$$so = \sqrt{o_x^2 + o_y^2} \quad (3)$$

kjer je  $so$  skupno odstopanje,  $o_x$  odstopanje za X in  $o_y$  odstopanje za Y.

*Preglednica 4: Skupno odstopanje ortopodob.*

Podobmočje	Podoba 1	Podoba 2	Podoba 3	Podoba 4
Kr. Gora	14,7 m	16,1 m	13,8 m	13,8 m
Jesenice	8,7 m	7,6 m	14,1 m	14,5 m
Vrata	11,0 m	17,8 m	13,2 m	13,6 m
Planica	10,3 m	13,6 m	12,8 m	8,0 m
Trenta	11,4 m	18,2 m	20,3 m	15,7 m
Log	16,9 m	18,0 m	20,6 m	14,5 m
Pokljuka	11,6 m	14,8 m	9,5 m	14,5 m
Radovljica	–	–	9,9 m	8,6 m
Tržič	–	–	7,4 m	–
Jelovica	–	–	7,1 m	15,9 m
SKUPNO	12,0 m	15,6 m	12,6 m	12,9 m

Pri interpretaciji rezultatov moramo upoštevati, da imata podoba 1 in podoba 3 ločljivost 10 m, podoba 2 in podoba 4 pa 20 m. Poleg tega je potrebno tudi upoštevati, da je natančnost merjenja točk približno pol piksela (vsaj 5 m za pankromatske podobe oziroma 10 m za multispektralne). Ob upoštevanju teh dejstev lahko vidimo, da so dobljeni rezultati izjemno natančni.

Vse podobe imajo približno enako skupno odstopanje. Med njimi odstopa le podoba 2, ki ima nekoliko višje odstopanje. Kljub temu so rezultati zelo dobri, kar še posebej velja za multispektralne podobe. Od podobmočij imajo najmanjša odstopanja Jesenice, Planica, Radovljica in Tržič, največja pa Trenta in Log. Najbolj zanimivi so rezultati podobe 3, kjer so najmanjša odstopanja v desnem delu podobe. Odstopanja so tudi do polovice manjša kot na preostali podobi. Razlog je verjetno oblika reliefa, saj je desna stran pretežno ravninska in nima večjih višinskih razlik. Ravne površine pa niso tako odvisne od modela višin, ki se ga uporabi pri ortorektifikaciji, kot so to gorata področja. Poleg tega je tudi interpolacija ravninskih delov pri izdelavi ortopodob enostavnejša in točnejša (Marsetič 2005, 66).

## 4 Sklep

V prispevku je bila predstavljena ortorektifikacija srednjeločljivih satelitskih podob SPOT. Obdelava je bila večinoma samodejna, rezultati pa so bili zaradi slabše kakovosti podob kljub temu zelo odvisni



od operaterja. Dobra natančnost ortopodob je bila potrjena s primerjavo z digitalnimi ortofoti. Vse štiri ortopodobe so imele približno enaka odstopanja, in sicer dobrih deset metrov. Študija natančnosti posameznih podobmočij ne kaže na povezanost boljših rezultatov z določeno geografsko značilnostjo ali določeno lego v podobi. Pri tem je potrebno upoštevati dejstvo, da zaradi pomanjkanja značilnih objektov niso bila posebej obdelana gorata področja, kjer je proces ortorektifikacije najbolj odvisen od uporabljenega modela višin. Za ostala območja pa se lahko trdimo, da je bil uporabljen DMV s 25-metrsko ločljivostjo dovolj natančen za uporabo v ortorektifikaciji. Če upoštevamo še nekatere avtorje (Al-Rousan in drugi 1997), ki so za srednjeločljive pankromatske podobe SPOT dobili RMSE okoli 9 m, so dobljeni rezultati zelo dobri.

Slaba kakovost podob na ortorektifikacijo ni posebno vplivala. Največje težave je povzročala pri triangulaciji, saj je samodejno iskanje veznih točk delno odpovedalo in potrebno je bilo ročno merjenje. Problemi so nastajali tudi pri iskanju lokacij oslonilnih točk. Kljub temu so bili tudi rezultati triangulacije dobri, pri multispektralnem stereoparu celo presenetljivo dobri, če upoštevamo še goratost obravnavanega območja.

Ortopodobe, ki smo jih izdelali so dokaj natančne. Ker pa imajo imajo vseeno le »srednjo« ločljivost, so primerne le za kartiranja v srednjih in nekaterih velikih merilih (to je 1 : 50.000 in manjša). Trenutno so za izdelavo ortopodob na voljo tudi visokoločljivostne podobe satelitov SPOT, Ikonos, Quick-Bird, OrbView-3, EROS-1A in drugi. S temi podobami je mogoče pridobiti kakovostnejše in zanesljivejše rezultate, ki imajo širok spekter uporabe. Pri tem pa moramo paziti tudi na primerno izbiro modela višin za ortorektifikacijo, saj lahko DMV z nizko natančnostjo le poslabša natančnost ortopodob.

Visokoločljivostne podobe so že skoraj dokončno izrinile starejše podobe z nižjo ločljivostjo, ki ne zadoščajo več novim potrebam. Poleg tega se hitro razvijajo tudi tehnike samodejne slikovne korelacije, ki bodo še dodatno izboljšale, olajšale in pospešile izdelavo ortopodob in modelov višin. Posledično se bosta povečali tudi natančnost in zanesljivost izdelanih digitalnih modelov višin in digitalnih ortopodob.

## 5 Viri in literatura

- Al-Rousan, N., Cheng, P., Petrie, G., Toutin, T., Valadan Z. 1997: Automated DEM extraction and ortho-image generation from SPOT level 1B imagery. *Photogrammetric engineering & remote sensing*, 63, 8.
- Ganas, A., Lagios, E. in Tzannetos, N. 2002: An investigation into the spatial accuracy of the IKONOS 2 orthoimagery within an urban environment. *International journal of remote sensing*, 23, 17.
- Infoterra, 2005: DEMs from optical satellite data. Medmrežje: <http://www.infoterra-global.com/opticaldem.htm> (7. 8. 2005).
- Kramer, H. J. 2002: *Observation of the earth and its environment. Survey of missions and sensors*. Berlin.
- Krupnik, A. 2000: Accuracy assessment of automatically derived digital elevation models from SPOT images. *Photogrammetric engineering & remote sensing*, 66, 8.
- Leica 2003: *Leica Photogrammetry Suite, OrthoBASE & OrthoBASE Pro User's Guide*. Atlanta, Združene države Amerike.
- Marsetič, A. 2005: *Izdelava digitalnega modela višin in ortopodob iz satelitskih posnetkov SPOT*. Diplomaska naloga, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana.
- Passini, R., Jacobsen, K. 2004: Accuracy analysis of digital orthophotos from very high resolution imagery. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 35, Part 4. Carigrad, Turčija.
- Toutin, T. 2003: Block bundle adjustment of Landsat 7 ETM+ images over mountainous areas. *Photogrammetric engineering & remote sensing*, 69, 12.

## INTEGRIRANJE PODATKOV RELIEFA SLOVENIJE

**dr. Tomaž Podobnikar**

*Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU*

*Novi trg 2, 1000 Ljubljana*

*tp@zrc-sazu.si*

**Jurij Mlinar**

*Geodetska uprava Republike Slovenije*

*Zemljemerska ulica 12, 1000 Ljubljana*

*jurij.mlinar@gov.si*

UDK: 551.4:659.2:004(497.4)

### IZVLEČEK

#### **Integriranje podatkov reliefa Slovenije**

Leta 2005 je Znanstvenoraziskovalni center SAZU po naročilu Geodetske uprave Republike Slovenije izdelal celovit sistem za vzdrževanje digitalnega modela reliefa (DMR) z vedno novimi, kakovostnejšimi podatki o reliefu. Sistem je relativno enostaven in transparenten. Na podlagi inovativne metodologije je bil z integracijo obstoječih virov o reliefu izdelan nov model za območje Slovenije in okolice z ločljivostjo 12,5 m. Model je zaradi združevanja več kot 25 različnih podatkovnih slojev nekakšen nehomogen kolaž, vseeno pa je tako z metričnega kot tudi geometričnega (geomorfološkega) vidika boljše kakovosti od najboljšega podatka. Nadaljnji izzivi so predvsem praktičen prenos izdelanih postopkov izdelave DMR-ja v prakso.

### KLJUČNE BESEDE

*digitalni model reliefa, integracija podatkov, geografski informacijski sistem, Slovenija*

### ABSTRACT

#### **Data integration for Slovenian digital elevation model production**

In the year 2005 Scientific Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts on order by Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia elaborated an integral system for data maintenance digital elevation model with new qualitative relief data. The system is relatively simple and transparent. With integration of existing data, on the basis of innovative methodology for the territory of Slovenia and its surroundings a new digital elevation model was produced with the resolution of 12.5 m. Due to pooling of more than 25 data sets the model is a sort of collage which is from the metrical and geomorphological point of view of better quality than the best source data. Further challenge is first of all to put elaborated procedures of making digital elevation model into practice.

### KEYWORDS

*digital elevation model, data integration, geographical information system, Slovenia*

## 1 Uvod

Digitalni model reliefa (DMR) je bistven za učinkovito prostorsko predstavitev in analize na zemeljskem površju. Brez podatkov o reliefu ne bi bilo mogoče zagotoviti uspešnega upravljanja evidenc, pomembnih za državo in državljane. Geodetska uprava in druge institucije hranijo veliko kakovostnih podatkov o reliefu, ki so bili zajeti v zadnjih desetletjih izključno za izvedbo določenih nalog (Podobnikar 2001). Podatke so zajemale različne institucije po različnih standardih. Taki podatki sčasoma zastarajo, saj jih večinoma po zaključku naloge ne vzdržujejo več. Poleg tega je večina podatkov o reliefu geomorfološko neobdelanih in so pravzaprav »surovina« za izdelavo DMR. Pri tem mislimo predvsem na obstoječe podatke modelov višin v Sloveniji (t. i. DMR 25 ali DMR 100).

Z izvedbo projekta izdelave DMR-ja Slovenije smo pripravili metodologijo, ki zajema celovit sistem za vzdrževanje modela reliefa z novimi, kakovostnejšimi podatki o reliefu. Metodologija je zasnovana tako, da podpira tako lokalno vzdrževanje modela reliefa na območjih, ki pokrivajo le manjši del Slovenije, kot tudi vzdrževanje na celotnem območju Slovenije. Izdelano metodologijo za vzdrževanje modela reliefa smo v preteklih letih temeljito preizkusili (Podobnikar 1999, 2001, 2002a, 2002b, 2005; Podobnikar et al. 2001). Po celoviti kontroli kakovosti virov smo iz obstoječih višinskih podatkov izdelali osnovni model reliefa. Model smo v nadaljnjih fazah skladno z metodologijo nadgrajevali z drugimi višinskimi podatki in ga tako izboljševali. Pri tem smo se v veliki meri naslanjali na analitične sposobnosti geografskih informacijskih sistemov. Rezultat projekta je tudi digitalni model višin z ločljivostjo 12,5 m, ki pokriva območje Slovenije in njene okolice. Omenjeni model reliefa ni končni rezultat, ampak le prvi rezultat integracije podatkov o reliefu Slovenije, ki bo periodično vzdrževan z vedno novimi viri.

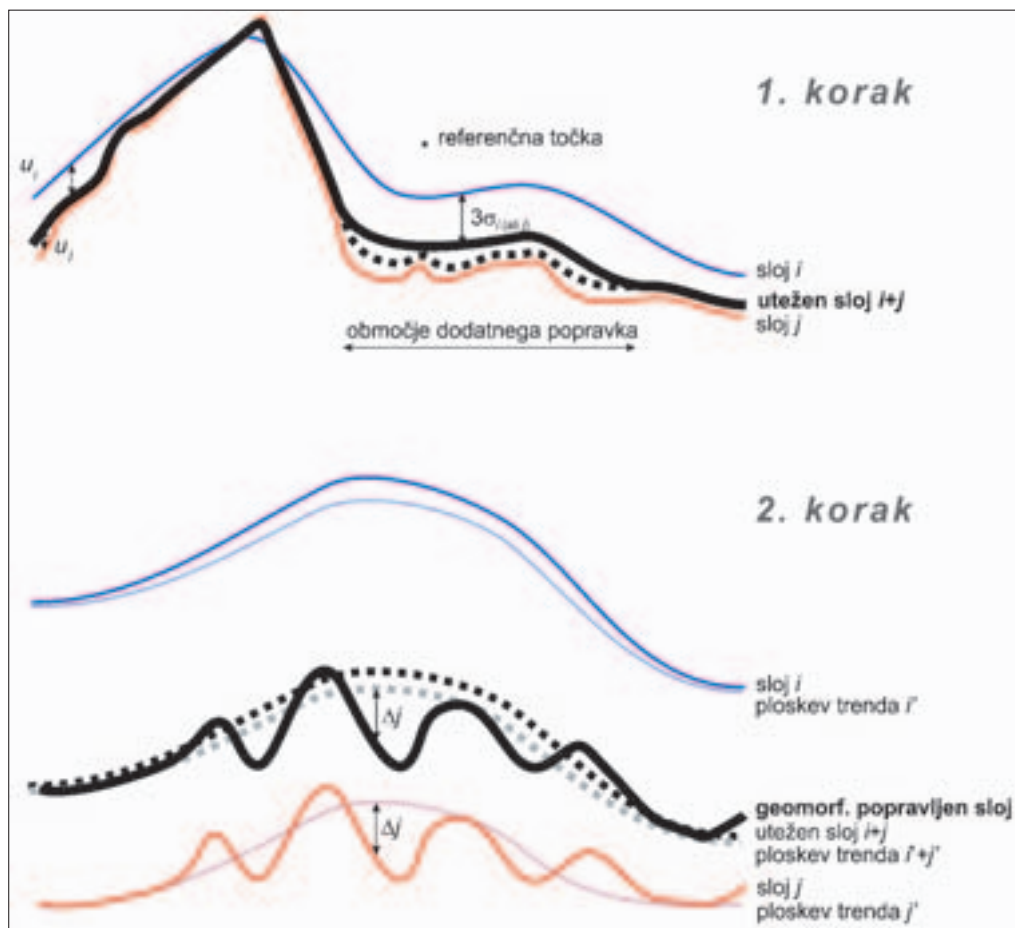
## 2 Metodologija za izdelavo DMR-ja

V drugi polovici devetdesetih let prejšnjega stoletja so nastale obširne zbirke prostorskih podatkov, večinoma različnih kakovosti, ločljivosti in merila. Precej zbirk vsebuje tudi informacije o nadmorski višini ali oblikovanosti površja in so potencialno uporabne za izdelavo DMR-ja. Te zbirke vsebujejo lokalno boljše informacije o reliefu, kot je bil do nedavnega najboljši DMR za celotno državo. Iz njih smo za celotno državo izdelali model, ki je precej boljši od obstoječih modelov, in to *brez vsakršnega novega zajemanja podatkov* (Podobnikar 1999).

Na žalost vsebuje večina virov grobe ali celo sistematične napake, metapodatki posameznih virov pa so praviloma težko primerljivi. Problem izvedbe omenjene ideje med drugim predstavlja uveljavljeno pravilo, da pri integriranju ne smemo mešati podatkov različne kakovosti. Vseeno smo postavili hipotezo, da je možno s primerno obravnavo podatkov *odpraviti grobe in sistematične napake, izpostaviti najboljše lastnosti obstoječih virov in jih integrirati v model, ki bi bil v celoti boljši od posameznega vira* (Podobnikar 2001).

Izdelava DMR-ja je zasnovana na svežih idejah in pristopih, oplemeniteni z izkušnjami iz dobre prakse. Metodologija obsega štiri, parcialno iterativne faze: pripravo za modeliranje, predobdelavo virov, obdelavo virov za izdelavo modela in kontrolo kakovosti. Postopek je pregleden, saj v vseh fazah izdelave poteka vsestransko preverjanje kakovosti. Osnovna zamisel obdelave različnih virov podatkov temelji na *utežnem seštevanju virov z geomorfološkimi popravki* (Podobnikar 2001, 2005, slika 1). V modelu so uteži podatkov upošteevane glede na statistično testirane vire, geomorfološke lastnosti pa ob upoštevanju vizualno ovrednotenih virov. Dejansko je metodologija nekoliko bolj zapletena, saj je kombinacija utežnega seštevanja, geomorfoloških popravkov, hkratne interpolacije virov, mozaičenja podatkov ter metod za integracijo podatkov brez informacij o višinah (Podobnikar 2005).

Potencialni viri za izdelavo novega DMR-ja Slovenije so bili vsi, ki vsebujejo trirazsežne podatke o površju, poleg tega pa tudi dvorazsežni podatki, ki dodatno opisujejo obliko zemeljskega površja, kot sta rečno ali cestno omrežje. V modelu so uteži podatkov upošteevane glede na statistično testirane vire, geomorfološke lastnosti pa ob upoštevanju vizualno ovrednotenih virov.



Slika 1: Utežno seštevanje virov z geomorfološkimi popravki. V 1. koraku upoštevamo uteži  $u_i$  in  $u_j$ , izračunane glede na predhodno ovrednoteno kakovost posameznega sloja. Z utežnim seštevanjem slojev  $i$  in  $j$  izračunamo sloj  $i+j$ . V 2. koraku poenostavimo sloje  $i$ ,  $j$  in  $i+j$  tako, da izračunamo ploskve trendov  $i'$ ,  $j'$  in  $i'+j'$ . Izračunamo razliko  $\Delta j$  med geomorfološko boljšim slojem  $j$  in njegovim trendom  $j'$ . Dobljeno razliko  $\Delta j$  prištejemo ploskvi trenda  $i'+j'$  in dobimo geomorfološko popravljen utežen sloj DMR.

### 3 Izdelava DMR-ja

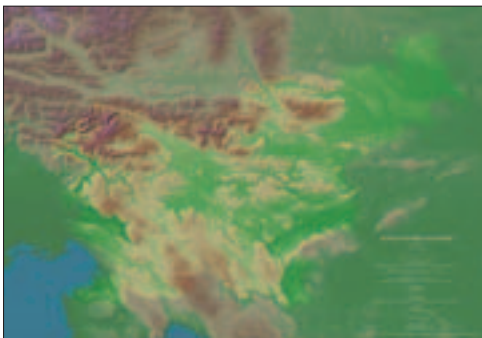
Leta 2002 je bil na podlagi zastavljene metodologije za osrednji del Slovenije izdelan prototipni DMR s celično mrežo ločljivosti 20 m (Podobnikar et al. 2001). Za izdelavo tega modela so bili uporabljeni vsi primerni obstoječi podatki, tudi taki, ki bi jih na prvi pogled najraje zavrgli. V izdelavo prototipnega DMR-ja je bilo po izvedeni kontroli virov vključenih več kot 25 različnih virov podatkov, zajetih od leta 1947 dalje. Med njimi gre tudi za dvodimenzionalne podatke, ki so pripomogli predvsem k geomorfološkim izboljšavam DMR-ja kot so podatki cest, železnic in vodotokov. Na podlagi teh izkušenj je bil na Inštitutu za antropološke in prostorske študije Znanstvenoraziskovalnega centra SAZU med

letoma 2003 in 2005 izdelan za Slovenijo in širšo okolico še natančnejši in bolj izpopolnjen *DMR Slovenije* (slika 2). DMR Slovenije je sistem, ki obsega podatke digitalnih modelov višin z ločljivostjo 12,5 m, 25 m in 100 m, njegove bistvene značilnosti pa so:

- model je zaradi vključitve različnih virov nekakšen kolaž, kar pomeni, da se njegove lastnosti spreminjajo glede na kakovost (in količino) uporabljenih virov na določenem območju,
- ocenjena natančnost modela je 3,2 m za območje vse Slovenije, in sicer 1,1 m za ravnine, 2,3 m za gričevja, 3,8 m za hribovja in 7,0 m za gorovja pri ločljivosti 12,5 m,
- za vsako točko modela je znana potencialna natančnost ter delež vsakega uporabljenega vira,
- model pokriva tudi okolico Slovenije s skupno površino 55.087,5 km<sup>2</sup>, kar je 2,7-kratna velikost države,
- uporabljeni so bili obstoječi podatki brez zamudnega in dragega zajema,
- rezultati kontrole kakovosti so pregledni, pri čemer so vizualne in druge geomorfološke kontrole kakovosti enakovredne statističnim,
- skupaj s kontrolo kakovosti so bile odpravljene grobe in sistematične napake vseh uporabljenih virov,
- metodologija izdelave omogoča vzdrževanje modela z novimi viri podatkov glede na natančno ovrednoten izdelan model z znanimi spremembami površja v preteklosti,
- podatki DMV-ja 12,5 so primerni za lokalne analize na območjih, kjer je kakovost večja, npr. na območju Ljubljane, DMV-ja 25 za analize na ravni regij in zahtevnejše analize na ravni celotne države ter DMV-ja 100 za analize na ravni celotne Slovenije,
- poleg omenjenih DMV-jev obsega DMR Slovenije še plastnice z ekvidistanco 10 m, skelet z značilnimi črtami in točkami ter sloje o kakovosti.

Metodologija izdelave DMR-ja Slovenije je omogočila izboljšanje in ovrednotenje vseh virov, uporabljenih pri izdelavi. Identificirali in označili smo napake položajev ali višin geodetskih in drugih raztresenih točk. Odpravili smo okoli 7000 napak plastnic merila 1 : 25.000, nastalih pri digitalizaciji in več kot 200 napak, prisotnih že na obstoječih kartah. Digitalne plastnice smo topološko povezali glede na iste attribute višin in med posameznimi listi v enoten sloj. Prekinili smo jih na območjih kamnolomov in nekaterih drugih večjih posegov v prostor. Območja stoječih voda so azurirana, dodani so atributi višin. Zajeli smo podatke območij kamnolomov. Največ časa je vzela prav predobdelava, torej vrednotenje in plemenitenje posameznih virov za izdelavo DMR.

Vsekakor smo posredno pripomogli, da so podatki Geodetske uprave bolj pregledni, lažje dostopni, zapisani v primernejših formatih kot prej ter da so splošno dostopni metapodatki pravilnejši. Posebej velja omeniti uporabnost podatkov DMR 25. Po opravljenih analizah kakovosti se je pokazalo, da viri za izdelavo niso bili navedeni. Zaradi našega nepoznavanja virov je bilo pri modeliranju DMR-ja Slovenije težko verodostojno uporabiti podatke kot neodvisne. Pogosto se je dogajalo, da smo na istem območju modelirali DMR 25 in še nek drugi sloj, ki pa sta bila pravzaprav istega izvora. Poleg tega je DMR 25 relativno nehomogen, saj ga je izdelovalo več izvajalcev, vseeno pa se je z leti kakovost izboljševala. Nekoliko drugačne izkušnje smo imeli z zbirko DTK 5, kjer smo bili s poskusnimi podatki izjemno



*Slika 2: Karta površja Slovenije v merilu 1 : 250.000, izdelana iz DMR-ja Slovenije (Podobnikar 2006c).*

zadovoljni, kasnejši podatki so prav tako ohranjali visoko horizontalno natančnost, pri višinskih podatkih pa so se pojavljale posamezne grobe napake. Na splošno so bili podatki, na katere smo se lahko najbolj zanesli, skenogrami DTK 25 in kataster stavb. Večja in bolj predvidljiva kakovost podatkov bi projekt izdelave DMR-ja Slovenije izrazilo poenostavila in pocenila.

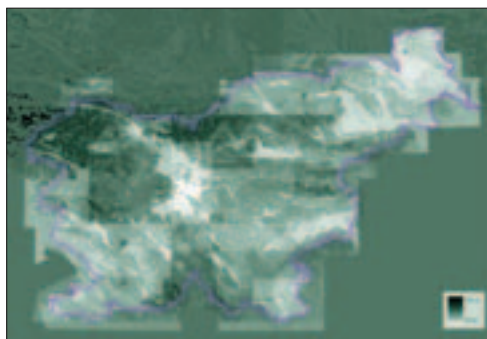
Največja prednost novega DMR-ja Slovenije je odprtost v smislu možne učinkovite nadgradnje z novimi viri podatkov. Pri tem lahko z razmeroma nizkimi stroški dosežemo še večjo kakovost modela. Pripravljena metodologija je zasnovana tako, da podpira tako lokalno – selektivno vzdrževanje modela reliefa kot tudi vzdrževanje podatkov modela reliefa za celotno območje Slovenije hkrati. Omogoča tudi določitev območij z manj kakovostnim DMR-jem, čemur lahko prilagodimo zajem podatkov za izboljšavo modela.

#### 4 Smernice za nadaljnjo integracijo podatkov

Pomemben povod za izdelavo novega DMR-ja Slovenije so bili uporabniki, ki so zahtevali večjo kakovost prostorskih podatkov. Vendar se pri tem z ekonomskega vidika poraja problem visoke cene in dolgotrajnosti zajema takih podatkov. V zadnjih letih so se tehnologije na področju zajema podatkov o reliefu izrazito izboljšale in pocenile, tako da lahko kmalu tudi na območju Slovenije pričakujemo vse več natančnejših in podrobnejših podatkov o reliefu. Omeniti velja razvoj tehnologije laserskega skeniranja, ki omogoča zajem podatkov površja z natančnostjo nekaj 10 cm ali manj. S takimi podatki bi že dosegli nekakšno razumno mejo kakovosti DMR-ja, saj se npr. na njih že vidi razlika v višinah in teksturi med sveže preorano njivo ter opuščeno in spremenjeno v travnik. S takimi natančnimi podatki bi omogočili zelo občutljive simulacije poplav ali identifikacijo vrtač na krasu, ki jih je težko natančno izmeriti s tradicionalnimi fotogrametričnimi metodami.

Metodologija vzdrževanja DMR-ja Slovenije sloni na natančnih metapodatkih o kakovosti posameznih modelov reliefa, ki nastopajo kot vir za izdelavo DMR-ja Slovenije (Podobnikar 2005). Glede na to vedenje se lahko odločamo med vključitvijo novih podatkov, ki jih sproti pridobivamo in so na razpolago, ter med novim, načrtnim in selektivnim zajemom podatkov na območjih, kjer je DMR slabši od zahtevane kakovosti. Vsekakor moramo vse nove vire pred uporabo celovito ovrednotiti in jih po potrebi popraviti. Pomemben produkt izdelave DMR-ja so metapodatki o natančnosti modela reliefa, ki povedo, kateri deli modela reliefa so slabše kakovosti (slika 3) ali pa so slabo ovrednoteni (ker ni bilo dovolj kontrolnih podatkov) ter metapodatki območij, kjer se potencialno hitro spreminja zemeljsko površje, kot so kamnolomi in gramoznice, smetišča, območja gradnje avtocest ipd. Ti metapodatki so odlično izhodišče za selektivno vzdrževanje modela reliefa Slovenije.

Pri vključevanju novih podatkov moramo biti še posebej pazljivi, saj je treba pri vsaki obnovi DMR-ja poleg uteznega seštevanja slojev upoštevati tudi geomorfološke popravke (npr. potek rek ali cest).

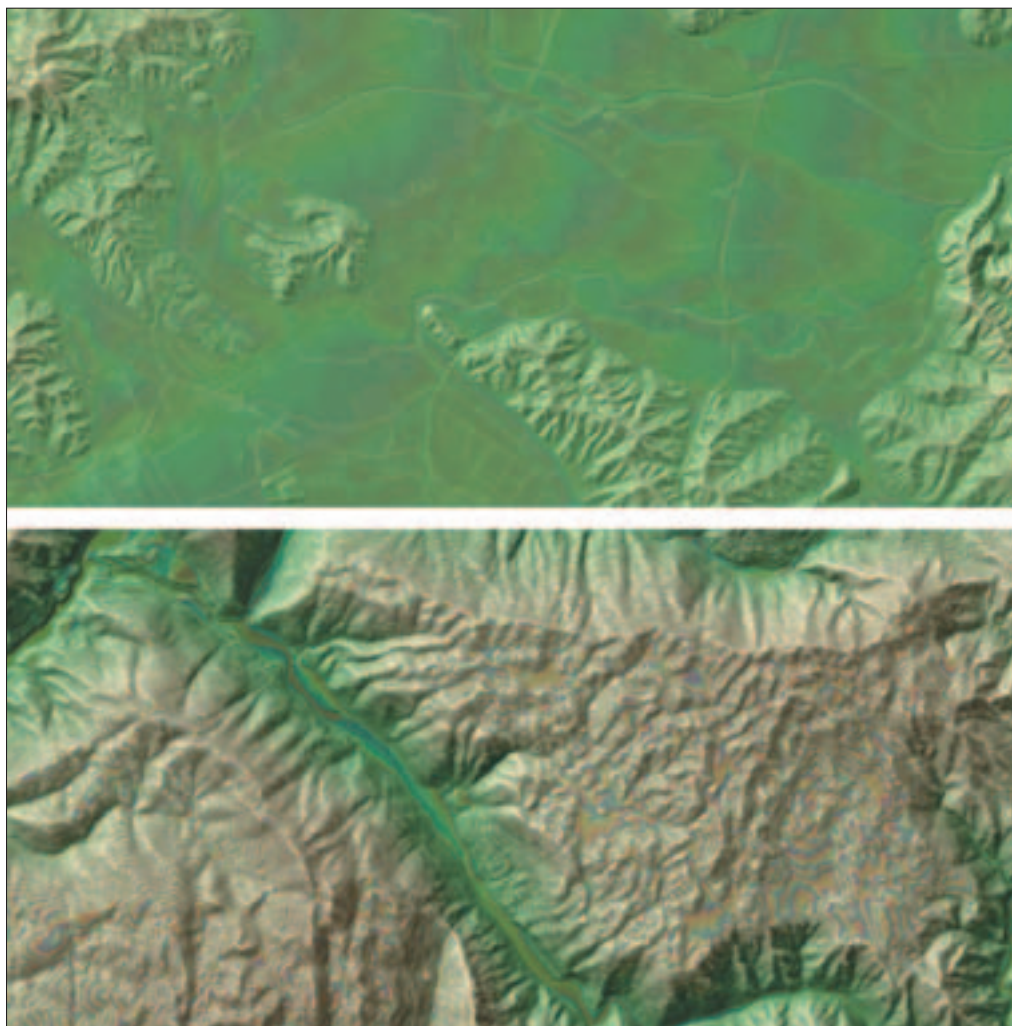


*Slika 3: Natančnost DMR-ja Slovenije kot eden izmed slojev pri utežnem seštevanju s podatki o reliefu, ki bodo zajeti v prihodnje (Podobnikar 2006b).*

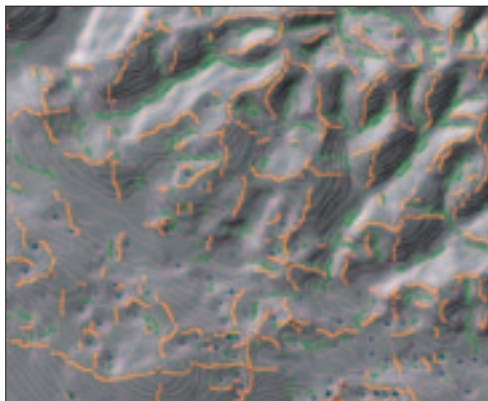
Pomembna prednost vzdrževanja pri uporabi razvite celovite metodologije ovrednotenja kakovosti je, da odpade drago zajemanje morebitnih kontrolnih točk. Ob uporabi veliko neodvisnih predhodno testiranih podatkov o reliefu in pridobitvijo parametrov o kakovosti so že ti najboljše izhodišče in zagotovilo za kakovost DMR-ja Slovenije.

Izdelava DMR-ja po opisani metodologiji temelji izrazito na predhodnih parametrih in znanju, pridobljenih v predhodnih fazah izdelave modela. Glede na dosedanje izkušnje pri izdelavi DMR-ja Slovenije želimo izpostaviti nekaj pomembnih napotkov pri vključevanju novih virov podatkov v model:

- metapodatki virov morajo biti točni in natančni, znan mora biti izvor, vsebovati morajo dodatne parametre, pomembne za izdelavo DMR-ja Slovenije glede na razvito tehnologijo (kar je najmanj, parametri kakovosti po standardu ISO morajo biti zanesljivi),



*Slika 4: Napredna metoda vizualizacije DMR-ja, ki omogoča podroben vpogled v kakovost sloja in hkrati plastičen prikaz reliefa (kombinacija analitičnega senčenja, izpostavljanja robov, bipolarnega diferenciranja in hipsometrije) za območje Ljubljane in Mosta na Soči (Podobnikar 2006a).*



Slika 5: Značilne črte, pridobljene kot »stranski« produkt pri interpolaciji plastnic.

- lastnik podatkov mora sodelovati z izvajalci in hkrati dobro poznati metodologijo in naravo dela,
- povezati se je treba z drugimi upravljalci prostorskih podatkov in vključevati njihove podatke, npr. z gradbeniki,
- upoštevati je treba pravila, ki se tičejo definicije DMR-ja – npr. mostovi in drugi grajeni objekti ne smejo biti del modela reliefa (Podobnikar 2001),
- viri morajo biti neodvisni od predhodno uporabljenih podatkov pri izdelavi DMR-ja Slovenije, morebitna odvisnost mora biti podrobno opisana v metapodatkih,
- na splošno mora biti postopek pridobivanja novih podatkov nadzorovan in transparenten, vseskozi mora potekati celovita kontrola kakovosti.

Če navedenih osnovnih napotkov ne bomo upoštevali, se kakovost novega DMR-ja ne bo bistveno izboljšala, poleg tega se bo podražil postopek vzdrževanja. Hkrati ne bomo mogli uživati sadov pomembnega stranskega produkta izdelave DMR-ja Slovenije, izboljšanih virov podatkov za izdelavo modela reliefa. Izkušnje od začetka izdelave DMR-ja Slovenije v začetku sedemdesetih let prejšnjega stoletja kažejo, da se pri nacionalnem DMR-ju do sedaj ni sistematično držalo zastavljenih ciljev. Upamo in želimo si, da bo opisana metodologija po prvih vzpodbudnih rezultatih tokrat zaživela (slika 4).

Razmisliti moramo tudi o izdelavi zbirke podatkov o reliefu. Izhodišča so pripravljena: kot »stranski produkt« pri izdelavi DMR-ja smo namreč pridobili zbirko podatkov značilnih črt in točk, ki jih lahko ob ustrezni dodelavi vključimo v celovitejši DMR Slovenije. Gre za črte grebenov in dolin ter za točke vrhov in vrtač. Zraven spadajo tudi izpopolnjeni sloji plastnic različnih (kartografskih) meril in drugi ovrednoteni podatki o reliefu (Podobnikar 2001, 2002b, slika 5). Te sloje je smiselno vzdrževati v povezavi z modelom reliefa. Zbirka podatkov o reliefu bi morala omogočati tudi vpogled v arhiv modelov reliefa. Pri izgradnji modela reliefa Slovenije ne gre samo za izboljševanje kakovosti, ampak tudi za beleženje spreminjanja površja (Podobnikar 2001).

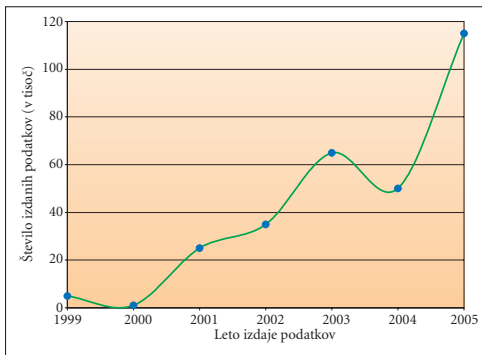
Po letu 2008 bomo prešli na nov državni koordinatni sistem, ki temelji na ESRS (*European Spatial Reference System*) in ki bo poenotil geokodiranje prostorskih podatkov med posameznimi državami v Evropi. Ob pretvorbi podatkov DMR-ja Slovenije v nov koordinatni sistem se bo skladno z natančnostjo izvedene transformacije tudi delno poslabšala kakovost obstoječih podatkov o reliefu. Po drugi strani pa bo s prehodom na nov koordinatni sistem omogočena lažja in kakovostnejša integracija DMR-ja Slovenije z modeli reliefa sosednjih držav. To pa odpira nove možnosti za nadgradnjo in vzdrževanje podatkov z drugimi viri podatkov ter povečuje uporabnost podatkov. Nenazadnje se pomembnosti integracije podatkov o reliefu zaveda tudi Evropska komisija, ki uvršča te podatke prav v sklop najpomembnejših geoinformacijskih slojev v Evropi. Glede na novi predlog direktive INSPIRE (*IN*frastructure for *S*patial *I*nfoRmation in *E*urope) bo morala vsaka država članica Evropske unije voditi kakovostne modele reliefa. Evropska komisija je dala s tem jasen znak, da se zaveda, da strokovne in kasneje poli-



tične odločitve temeljijo tudi na podatkih o reliefu in da je za vsako državo izrednega pomena, da razpolaga s kakovostnimi podatki.

## 5 Sklep

Povpraševanje po kakovostnih podatkih o reliefu se povečuje, saj se večina uporabnikov ne zadovolji več z dvodimenzionalnimi podatki, temveč teži k kakovostnim tridimenzionalnim podatkom, ki jim omogočajo bolj pregleden in nazoren prikaz dogajanja v prostoru. Povečano uporabo podatkov potrjujejo tudi statistike o izdanih prostorskih podatkih na Geodetski upravi, ki kažejo na velik porast uporabe podatkov DMR-ja v zadnjih letih (slika 6). Vse to še dodatno podkrepi pomembnost podatkov o reliefu in njihovo uporabnost tudi za državo, ki je zainteresirana, da razpolaga s kakovostnimi podatki in da ima vzpostavljen učinkovit sistem vzdrževanja teh podatkov.



Slika 6: Letna količina izdanih podatkov DMR-ja po enotah izdajanja podatkov glede na območje lista topografske karte 1 : 5000.

Metodologija, ki smo jo razvili v okviru projekta DMR-ja Slovenije, omogoča prav to: izdelavo kakovostnega modela reliefa in integracijo novih podatkov o reliefu, ki bodo zajeti v prihodnje in s tem nenehno izboljševanje DMR-ja Slovenije. Že v letu 2007 bo po naročilu Geodetske uprave izdelan digitalni model višin z ločljivostjo 5 m in s predpisanim srednjim odklonom med 1 in 3 m, odvisno od vrste pokrovnosti in razgibanosti površja.\* Geodetska uprava Republike Slovenije bo v naslednjih letih nadaljevala z zajemom podatkov za državno topografsko karto za raven merila 1 : 5000 – DTK 5. Podatke za DTK 5 se zajemajo fotogrametrično iz stereoparov letalskih posnetkov in so izrednega pomena za izdelavo modelov reliefa, saj vključujejo tudi značilne črte v prostoru. To so predvsem podatki o strugah vodotokov in bregovih jezer ter območja večjih posegov v prostor (ceste in železnice). Vsi ti novi podatki o reliefu bodo ob premišljeni zasnovi lahko dober vir za integracijo v opisan sistem DMR-ja Slovenije. Pričakujemo, da bodo z naštetimi izboljšavami modela reliefa vsi parametri kakovosti optimalni in homogeni pri ločljivosti 12,5 m in ne več pri 25 m, kot so sedaj. Da bi dosegli želene cilje, se moramo posvetiti predvsem izboljšanju kakovosti prostorskih podatkov Geodetske uprave, ki so glavni vir za izdelavo DMR-ja Slovenije.

Nadaljnji razvoj izdelave DMR Slovenije je odvisen predvsem od želja in zahtev potencialnih uporabnikov, razvoja tehnologije in znanja, (z)možnosti ponudnikov ter posluha za pravilne dolgoročne strateške odločitve. Z novim modelom reliefa Slovenije se lahko zagotovo spogledujemo z dosežki raz-

\* Glede na sedanjo 1,1 m natančnost v ravninah in ločljivost DMR-ja Slovenije 12,5 m, bi bila pri 5 m ločljivosti optimalna natančnost v ravninah 10 do 30 cm. Tak model bi se lahko npr. uporabljal za simulacijo poplav. Hkrati pa je na najbolj razgibanih območjih in v zimzelenih gozdovih (še posebej v kombinaciji z vrtačami) realno pričakovati natančnost, slabšo od 3 m. Pri izdelavi novega modela višin z ločljivostjo 5 m bo treba slediti zgoraj navedenim napotkom za vključevanje novih virov, sicer bo integracija v DMR Slovenije težko izvedljiva.

vitejših držav – ne samo po inovativnem znanju, temveč tudi po temeljiti in transparentni izdelavi, kakovosti in uporabnosti izdelka. V naslednjih nekaj letih nas čaka predvsem implementacija izdelane metodologije v prakso. Novi podatki o reliefu bodo kmalu na voljo in zasnovan proces vzdrževanja podatkov lahko steče. *Predvsem je treba paziti, da ne bomo ponavljali starih napak in nadomeščali enega modela z drugim, ampak da bomo vzdrževali le en kakovosten model reliefa – DMR Slovenije.* To je tudi osnovno načelo, ki izhaja iz zastavljene metodologije. Z vzdrževanjem DMR-ja Slovenije se bodo s časoma izboljševali tudi izhodni podatki iz zasnovanega sistema, digitalni modeli višin. S transparentno vodeno izgradnjo modela lahko pričakujemo vse večjo natančnost podatkov modelov višin in vse večjo ločljivost osnovne celice. S kakovostnejšimi modeli višin pa se približujemo potrebam tudi najbolj zahtevnih uporabnikov, ki za svoje delo potrebujejo visoko kakovostne podatke o reliefu.

## 6 Viri in literatura

- Podobnikar, T. 1999: Le z natančnim DMR moremo izvajati učinkovite prostorske analize: kakovostni digitalni model reliefa za Slovenijo. Delo, Ljubljana, 27. oktober 1999, 41/250.
- Podobnikar, T. 2001: Digitalni model reliefa iz geodetskih podatkov različne kakovosti. Doktorska disertacija, FGG, Univerza v Ljubljani. Ljubljana.
- Podobnikar, T. 2002a: Koncept izdelave novega digitalnega modela reliefa Slovenije. Geografski vestnik, 74/1.
- Podobnikar, T. 2002b: Metode vizualnih kontrol kakovosti prostorskih podatkov. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2001–2002, Ljubljana.
- Podobnikar, T. 2005: Production of integrated digital terrain model from multiple datasets of different quality. International journal of geographical information science, 19/1.
- Podobnikar, T. 2006a: DEM from Various Data Sources and Geomorphic Details Enhancement. Mountain Cartography Workshop, Bohinj (v tisku).
- Podobnikar, T. 2006b: Digitalni model reliefa Slovenije 12,5 m. Medmrežje: <http://iaps.zrc-sazu.si/?q=/node/70> (19. 5. 2006).
- Podobnikar, T. 2006c: Karta površja Slovenije. Geodetska uprava Republike Slovenije in Znanstvenoraziskovalni center SAZU.
- Podobnikar, T., Stančič, Z., Oštir, K., Mlinar, J. 2001: Digitalni model reliefa Slovenije iz raznih geodetskih podatkov. Geodetski vestnik, 45/3.



## HIPSOGRAFSKA ANALIZA POREČIJ Z DIGITALNIM MODELOM VIŠIN

**Mauro Hrvatin in dr. Drago Perko**

Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

Gosposka ulica 13, 1000 Ljubljana

mauro@zrc-sazu.si, drago@zrc-sazu.si

UDK: 551.4:659.2:004(497.4)

### IZVLEČEK

#### **Hipsografska analiza porečij z digitalnim modelom višin**

Hipsografska analiza porečij se ukvarja z ugotavljanjem lastnosti porečij glede na njihove nadmorske višine. Prostorska razporeditev nadmorskih višin znotraj posameznega porečja je pokazatelj geomorfoloških značilnosti oziroma prevladujočih geomorfnihi procesov in oblik. Klasična hipsografska analiza je zahtevala veliko ročnega planimetriranja in preračunavanja, z razvojem geografskih informacijskih sistemov in natančnejših digitalnih modelov višin pa je postala pomemben člen v morfografski analizi porečja kot temeljne geomorfološke enote, saj je realno izvedljiva in dostopna večini raziskovalcev. Kot primer je v prispevku predstavljena hipsografska analiza nekaj značilnih porečij v Sloveniji.

### KLJUČNE BESEDE

hipsografija, hipsometrija, digitalni model višin, porečje, geomorfologija, geografija, Slovenija

### ABSTRACT

#### **Hypsographic analysis of catchments with digital elevation model**

Hypsographic analysis of catchments deals with the assessment of catchment properties with regard to elevation. The arrangement of elevations within a single catchment indicates the geomorphologic characteristics and the prevailing geomorphic processes and landforms respectively. Classic hypsometric analysis demanded a lot of manual planimetry and calculation. With the development of the geographic information systems and with improved digital elevation models it has become an important element in the morphographic analysis of a catchment as a basic geomorphic unit. Nowadays it could be readily performed and it's accessible to most researchers. As an example the hypsographic analysis of some typical catchments in Slovenia is presented in the article.

### KEYWORDS

hypsography, hipsometry, digital elevation model, catchment, geomorphology, geography, Slovenia

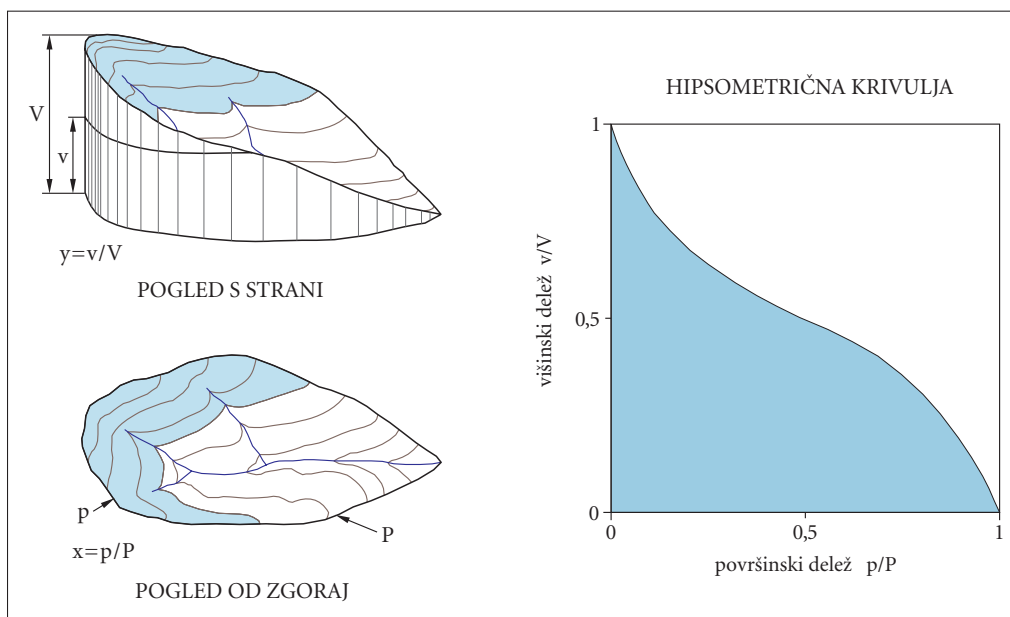
## 1 Uvod

S preučevanjem razgibanosti površja so se na različne načine ukvarjali številni geografi, predvsem geomorfologi, in raziskovalci sorodnih znanosti (Perko 2001, 27–29), razvoj geografskih informacijskih sistemov in digitalnih modelov reliefa pa je prinesel še nove možnosti. Med njimi je tudi ugotavljanje višinske razgibanosti in prostorske razporeditve nadmorskih višin porečij (Lindsay 2005), ki sta pokazateljici geomorfoloških značilnosti oziroma prevladujočih geomorfni procesov in oblik v porečjih.

V okviru geografije in geologije so se sredi 20. stoletja pojavile številne kvantitativne geomorfološke in hidrološke študije (Horton 1945; Mackin 1948; Strahler 1952; Strahler 1957), v katerih je prevladovala analiza porečij. Ena od kvantitativnih analiz porečij je tudi hipsografska analiza porečij, ki jo je prvi uporabil geolog Walter B. Langbein (Langbein 1947), razvil pa geograf Arthur Newell Strahler (Strahler 1952) in z njo ugotavljal razvojne stopnje površja v smislu erozijske teorije, ki jo je zasnoval William Morris Davis (Davis 1899). V naslednjih desetletjih se hipsografska analiza porečij zaradi zamudnega planimetriiranja in izračunavanja ni širše uveljavila, uporabljala in razvijala. Del krivde lahko pripišemo tudi navezanosti na Davisovo teorijo, ki je bila med geografi vse manj popularna. Ponoven zagon je hipsografska analiza porečij doživela v osemdesetih in devetdesetih letih 20. stoletja z razvojem računalniške tehnike, digitalnih modelov višin in geografskih informacijskih sistemov (Ciccacci, Fredi, Lupia Palmieri in Pugliese 1980; Ciccacci, D'Alessandro, Fredi in Lupia Palmieri 1992; Ohmori 1993; Luo 1998; D'Alessandro, Del Monte, Fredi, Lupia Palmieri in Peppoloni 1999) in prinesla nove razlage in nova dognanja.

## 2 Hipsometrična krivulja

Hipsografija je del geografije, ki se ukvarja s preučevanje nadmorskih višin zemeljskega površja. V pomoč ji je hipsometrija, ki se ukvarja z merjenjem nadmorskih višin zemeljskega površja in je del geodezije.



Slika 1: Shematični prikaz hipsometrične krivulje in spremenljivk za njeno računanje.

Hipsografska analiza porečij se ukvarja z ugotavljanjem lastnosti porečij glede na njihove nadmorske višine in temelji na hipsometričnih metodah. Ena od teh metod je tudi določanje hipsometrične krivulje, ki je v matematičnem smislu krivulja kumulativne frekvenčne distribucije oziroma kumulativne verjetnostne distribucije. Pri enakomerni razporeditvi pojavov je krivulja podobna premici, pri normalni razporeditvi pojavov pa črki S. Za hipsometrično krivuljo sta pomembni tudi njena sploščenost in asimetričnost.

Hipsometrično krivuljo porečja na grafu (slika 1) običajno prikažemo tako, da so na abscisi navedeni deleži nadmorske višine od 0 za najmanjšo višino porečja do 1 za največjo višino porečja (višinski deleži) oziroma normirane višine, na ordinati pa deleži porečja od 0 do 1, kar pomeni od 0 % do 100 % površine porečja (površinski deleži).

Ploščino med ordinato in hipsometrično krivuljo imenujemo hipsometrični integral.

### 3 Tipi hipsometričnih krivulj

Hipsografske analize porečij so pokazale, da lahko hipsometrične krivulje razvrstimo v štiri temeljne skupine ali tipe (Ciccacci, D'Alessandro, Fredi in Lupia Palmieri 1992):

- konkavne hipsometrične krivulje,
- konveksne hipsometrične krivulje,
- premočrtne hipsometrične krivulje in
- konkavno-konveksne hipsometrične krivulje.

Po Strahlerju oziroma Davisovi teoriji (Strahler 1952) naj bi bila konkavna hipsometrična krivulja značilna za staro stopnjo razvoja površja, ko se iznad peneplena dvigajo zgolj posamezni osamelci (monadnocki), konveksna hipsometrična krivulja za mlado stopnjo razvoja površja, ko se reke vrezujejo v pretežno uravnano površje, premočrtna in konkavno-konveksna hipsometrična krivulja pa za zrelo stopnjo razvoja z močno razčlenjenim površjem.

Tudi hipsometrični integral, torej ploščina pod hipsometrično krivuljo, naj bi pokazal stopnjo razvoja površja oziroma koliko gradiva bi morala erozija še odnesti do popolne uravnaneosti.

Če bi se površje res razvijalo ciklično, od uravnane in prek razčlenjenega površja do ponovno uravnane površja, bi bila Strahlerjeva razlaga pomena tipov hipsometričnih krivulj in hipsometričnega integrala smiselna. Ker pa se površje razvija veliko bolj kompleksno (Bognar 2001), je sodobna geomorfološka znanost hipsometričnim krivuljam in hipsometričnemu integralu pripisala nove razlage.

Konkavna hipsometrična krivulja s hipsometričnim integralom pod 0,4 je značilna za površje, kjer je denudacija pobočij pomembnejša od erozijskega vrezovanja vodnih tokov, zato so nastale široke doline s konkavnimi pobočji.

Konveksna hipsometrična krivulja s hipsometričnim integralom nad 0,6 je značilna za površje, kjer je erozijsko vrezovanje vodnih tokov pomembnejše od denudacije pobočij, zato so nastale ozke doline s konveksnimi pobočji.

Premočrtna hipsometrična krivulja s hipsometričnim integralom okrog 0,5 je značilna za kamninsko enotno površje, kjer sta denudacija pobočij in erozijsko vrezovanje vodnih tokov uravnotežena, zato so nastale ozke doline s premočrtnimi pobočji. Premočrtno krivulja pomeni enakomerno razporeditev nadmorskih višin v porečju.

Konkavno-konveksna hipsometrična krivulja s hipsometričnim integralom med 0,4 in 0,6 je značilna za kamninsko neenotno površje, kjer je ponekod pomembnejša denudacija pobočij, drugod pa je pomembnejše erozijsko vrezovanje vodnih tokov. Konveksno-konkavna krivulja je najbližja krivulji normalne razporeditve, ki je značilna za razporeditev večine pojavov v naravi.

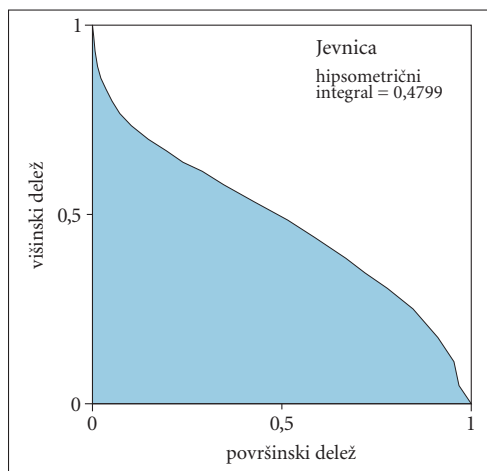
Nekatere reliefne značilnosti porečij opredelujeta tudi sploščenost in asimetričnost hipsometrične krivulje.

## 4 Uporaba geografskega informacijskega sistema

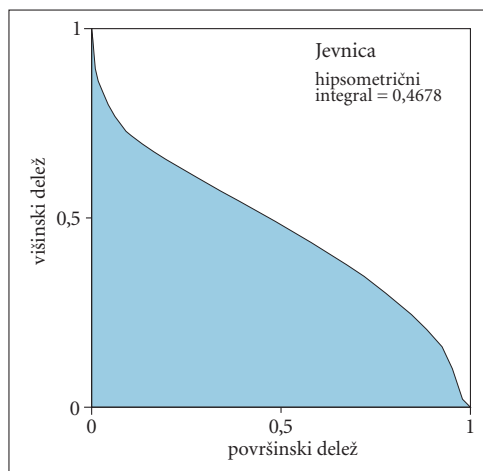
Višinsko razgibanost porečij v Sloveniji smo ugotavljali s 100-metrskim in 12,5-metrskim digitalnim modelom višin oziroma DMV 100 in DMV 12,5 (Podobnikar 2005; Geodetska uprava ... 2006). DMV 12,5 je za preučevanje razgibanosti površja manjših območij zelo primeren, ker je dovolj podroben, zgolj z geomorfološkega vidika pa je sicer boljši DMV 25, saj je geomorfološko testiran (Podobnikar 2006).

Za računanje reliefnih kazalnikov ter povezovanje podatkovnih slojev reliefa, kamnin, rečne mreže in razvodnic smo uporabili programska paketa IDRISI (Eastman 1995) in ArcGIS (Shaner, Wrightsell 2000; Tucker 2000; McCoy, Johnston 2001).

S programom Terrain Analysis System (Lindsay 2005), ki je posebej prilagojen za geomorfološke in hidrološke analize, smo izračunali hipsometrične integrale in izrisali hipsometrične krivulje za 186 porečij z velikostjo med 5 in 50 km<sup>2</sup>. Uporabili smo DMV 100 in DMV 12,5, vendar so odstopanja izračunanih hipsometričnih integralov za isto porečja med obema digitalnima modeloma višin le okrog 1 %, pa tudi potek obeh hipsometričnih krivulj za isto porečje je enak (sliki 2 in 3). Kljub veliki razliki v natančnosti in kakovosti DMV 100 in DMV 12,5 se je spet potrdilo dejstvo, da lahko DMV 100 pri nadmorskih višinah površja tudi pri manjših območjih uspešno nadomesti natančnejše digitalne modele višin. Statistično pomembne razlike se pojavijo šele pri navpični in vodoravni nagnjenosti površja, torej naklonih in ekspozicijah površja, ter navpični in vodoravni ukrivljenosti površja (Hrvatin, Perko 2002; Perko 2002; Hrvatin, Perko 2005).



Slika 2: Hipsometrična krivulja porečja Jevnice (Posavsko hribovje), izrisana iz 1109 podatkov višin DMV 100.



Slika 3: Hipsometrična krivulja porečja Jevnice (Posavsko hribovje), izrisana iz 71.045 podatkov višin DMV 12,5.

## 5 Porečja v Sloveniji

Glede na kamninsko in reliefno pestrost Slovenije smo pričakovali tudi najrazličnejše oblike hipsometričnih krivulj. Ugotovili smo, da se v Sloveniji pojavljajo porečja z vsemi temeljnimi tipi hipsometričnih krivulj.

Največ porečij ima konkavno-konveksno hipsometrično krivuljo s hipsometričnim integralom med 0,4 in 0,6, kar je razumljivo, saj se pri nas tudi znotraj tako majhnih prostorskih enot, kot so porečja pod 50 km<sup>2</sup>, kamnine in geomorfni procesi hitro spreminjajo.

Najmanj porečij ima konveksno hipsometrično krivuljo s hipsometričnim integralom nad 0,6. Taka porečja so značilna za planote. V Sloveniji je sicer veliko planot, vendar je večina kraških, torej brez površinskih vodotokov.

Za prikaz smo za vsak tip hipsografskih krivulj izbrali dve značilni porečiji v Sloveniji:

- porečiji Račne in Reke kot primera porečij s konkavno hipsometrično krivuljo,
- porečiji Lobnice in Vuda kot primera porečij s konveksno hipsometrično krivuljo,
- porečiji Kanomljice in Ljubnice kot primera porečij s premočrtno hipsometrično krivuljo in
- porečiji Davče in Lahomnice kot primera porečij s konkavno-konveksno hipsometrično krivuljo.

## 6 Primeri porečij v Sloveniji

Porečje Račne meri 42,9 km<sup>2</sup>. Leži večinoma v južnem delu Krškega gričevja, deloma pa sega tudi na Krško polje. Najvišje se vzpne 528 m visoko, kolikor meri vzpetina med Malo in Veliko Hubajnico, najnižja točka (148 m) je na sotočju Račne s Krko v bližini Hrvaškega Broda. Kamninsko podlago povirja sestavlja predvsem triasni dolomit, spodnji del porečja pa prekrivajo pliokvartarne gline in ilovice, med katerimi so ponekod prodniki in kosi roženca (slika 4).

Porečje Reke meri 36,1 km<sup>2</sup> in obsega skoraj celotna Goriška brda. Najvišje se vzpne na Koradi (812 m), najnižja točka (68 m) je na sotočju Reke z Idrijo v bližini naselja Venco/Jenkovo v sosednji Italiji. Kamninsko podlago sestavlja eocenski fliš s krajevnimi vložki apnenčevih breč. Spodnji tok Reke spremlja precej široka obrečna ravnica (slika 5).

Porečje Lobnice meri 43,1 km<sup>2</sup> in leži na severni strani Pohorja. Najvišje se vzpne na Velikem vrhu (1344 m) v bližini Črnega jezera, najnižja točka (269 m) je na sotočju Lobnice z Dravo pri Rušah. Kamninsko podlago povirja sestavlja granodiorit, v spodnjem delu porečja pa prevladuje muskovitno-biotitni gnajs, ki ga ponekod prekinjajo leče eklogita in amfibolita. Tik pred sotočjem prečka Lobnica še pas kloritno-amfibolovega skrilavca (slika 6).

Porečje Vuda (Prevalov graben) meri 7,6 km<sup>2</sup> in leži v zahodnem delu Kozjaka. Najvišje se vzpne na južnem pobočju hriba Haderniggkogel/Gabernik (1184 m) v sosednji Avstriji, najnižja točka (400 m) je na sotočju Vuda z Mučko Bistrico. Porečje je v skoraj v celoti zgrajeno iz metamorfnih kamnin. V povirju je največ kloritno-amfibolovega skrilavca ter amfibolita in diabaza, spodnji del porečja pa gradijo blestnik, gnajs in filit z vključki marmorja in kremenovega metaporfirja (slika 7).

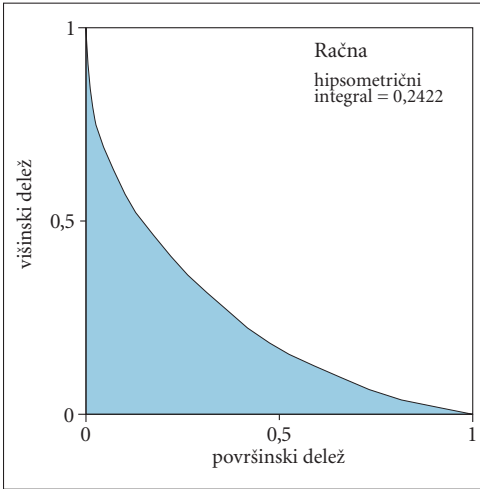
Porečje Kanomljice meri 45,4 km<sup>2</sup> in leži v osrednjem delu Idrijskega hribovja. Najvišje se vzpne s hribom Maslina (1163 m) na robu Vojskarske planote, najnižja točka (300 m) je na sotočju Kanomljice z Idrijo v Spodnji Idriji. Med kamninsko sestavo porečja prevladuje triasni dolomit, ki ponekod prehaja v plasti laporja in apnenca. Ostale kamnine (permokarbonski klastiti, dachsteinski apnenec, kredni skrilavi glinovec) gradijo le manjša območja (slika 8).

Porečje Ljubnice meri 42,3 km<sup>2</sup>. Leži v vzhodnem delu Kamniško-Savinjskih Alp. Najvišjo točko doseže na Komnu (1684 m), najnižja točka (408 m) je na sotočju Ljubnice in Savinje v Ljubnem ob Savinji. V kamninski sestavi porečja prevladujeta oligocenska andezitni tuf in tuftit z lečami vulkanskih breč. Najvišji vrhovi (Komen, Veliki Travnik in Smrekovec), po katerih poteka razvodnica, so zgrajeni iz andezita (slika 9).

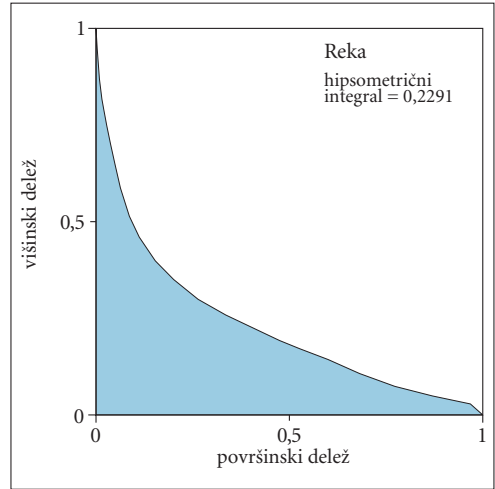
Porečje Davče meri 32,3 km<sup>2</sup> in leži v Škofjeloškem hribovju. Najvišje se vzpne na Poreznu (1630 m), najnižja točka (504 m) je na sotočju Davče s Selško Soro v bližini Zalega Loga. Kamninska podlaga je izredno pestra in sestavljena iz triasnih psevdoziljskih plasti (skrilavi glinovec v menjavi s peščenjakom, drobo in tufom), peščenjaka, dolomita in apnenca. Povirna pobočja Porezna so zgrajena iz jurskega in krednega apnenca, laporja, dolomita, glinovcev in peščenjakov (slika 10).

Porečje Lahomnice meri 35,0 km<sup>2</sup>. in leži v vzhodnem delu Posavskega hribovja. Najvišje se vzpne na Tolstem vrhu (834 m), najnižja točka (216 m) je na sotočju Lahomnice s Savinjo v Marija Gradcu. Kamninsko podlago južnega dela porečja sestavljajo miocenski lapor, pesek, peščenjak in litotamnijski apnenec, v severnem delu porečja pa je največ permokarbonskih klastičnih kamnin ter diabaza in keratofirja (slika 11).

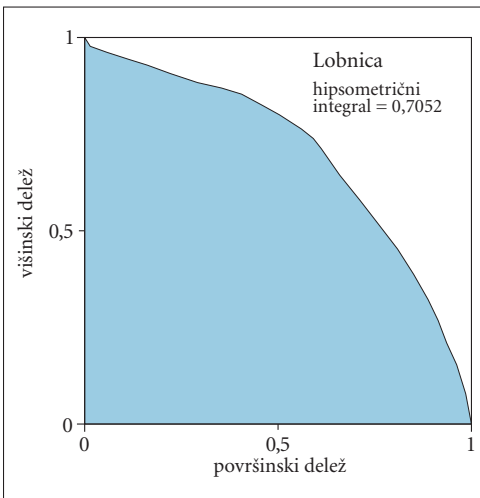




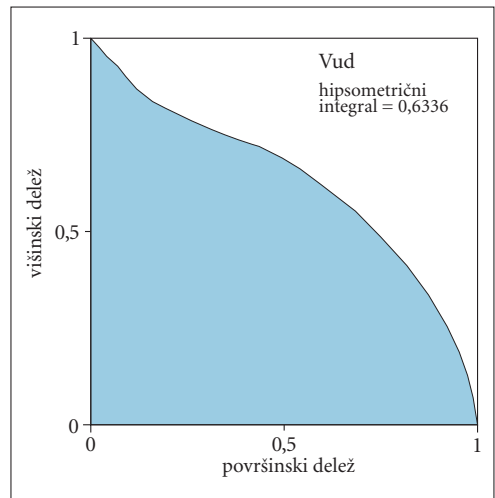
Slika 4: Konkavna hipsometrična krivulja na primeru porečja Račne (Krško gričevje).



Slika 5: Konkavna hipsometrična krivulja na primeru porečja Reke (Goriška brda).



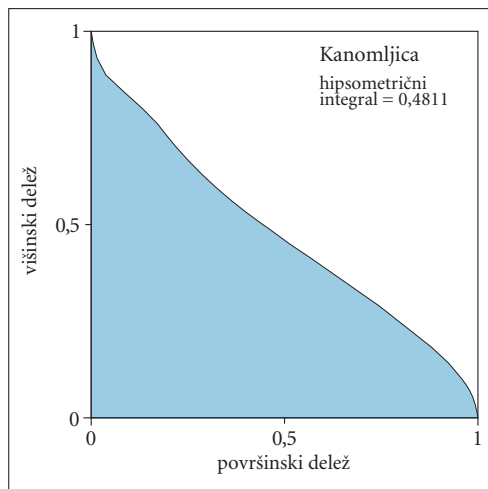
Slika 6: Konveksna hipsometrična krivulja na primeru porečja Lobnice (Pohorje).



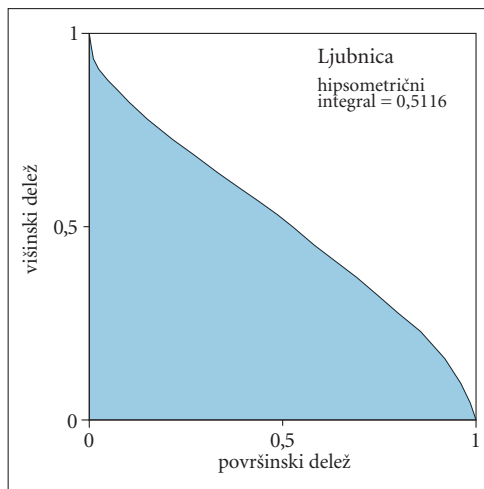
Slika 7: Konveksna hipsometrična krivulja na primeru porečja Vuda (Kozjak).

## 7 Sklep

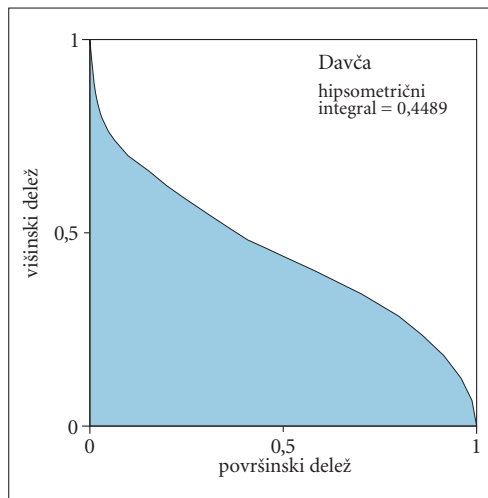
Hipsografska analiza porečij poskuša na temelju prostorske razporeditve nadmorskih višin znotraj posameznega porečja obrazložiti njegove geomorfne procese in oblike. Njeni začetki segajo že v sredino 20. stoletja, vendar se je zaradi zahtevnosti računanja hipsometričnih kazalnikov kljub svoji znanstveni vrednosti razmahnila šele z razvojem geografskih informacijskih sistemov konec 20. stoletja in natančnejših digitalnih modelov višin v 21. stoletju.



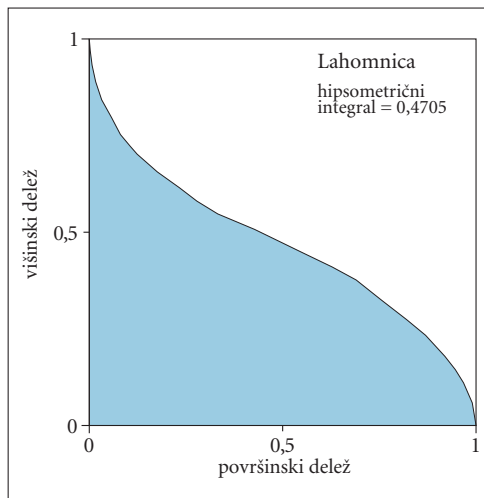
Slika 8: Premočitna hipsometrična krivulja na primeru porečja Kanomljičice (Idrijsko hribovje).



Slika 9: Premočitna hipsometrična krivulja na primeru porečja Ljubnice (Kamniško-Savinjske Alpe).



Slika 10: Konkavno-konveksna hipsometrična krivulja na primeru porečja Davče (Škofjeloško hribovje).



Slika 11: Konkavno-konveksna hipsometrična krivulja na primeru porečja Lahomnice (Posavsko hribovje).

Hipsografska analiza 186 slovenskih porečij z velikostjo med 5 in 50 km<sup>2</sup> je pokazala, da se v Sloveniji pojavljajo porečja z vsemi temeljnimi tipi hipsometričnih krivulj, zaradi kamninske in reliefne pestrosti pa prevladujejo porečja s konkavno-konveksno hipsometrično krivuljo in hipsometričnim integralom med 0,4 in 0,6.

Naše prihodnje delo bo usmerjeno na hipsografsko analizo vseh slovenskih porečij ne glede na njihovo velikost, tako da bomo lahko določili njihovo tipologijo, hkrati pa bomo natančneje raziskali porečja znotraj kamninsko razmeroma enotnih pokrajin, na primer Brkinov ali Slovenskih gorci, in ugotovi-

li, koliko so si hipsometrične krivulje in hipsometrični integrali posameznih porečij znotraj enotne pokrajine podobni. Poiskali bomo tudi morebitne zakonitosti pri prostorski razporeditvi porečij vseh temeljnih tipov hipsometričnih krivulj.

## 8 Viri in literatura

- Avena, G. C., Giuliano, G., Lupia Palmieri, E., 1967: Sulla valutazione quantitativa della gerarchizzazione ed evoluzione dei reticoli fluviali. *Bollettino della Società Geologica Italiana* 86. Roma.
- Bognar, A. 2001: The theory of geomorphological cycles of William Morris Davis. *Geografski zbornik* 41. Ljubljana.
- Ciccacci, S., D'Alessandro, L., Fredi, P., Lupia Palmieri, E., 1992: Relations between morphometric characteristics and denudational processes in some drainage basins of Italy. *Zeitschrift für Geomorphologie* 36. Berlin, Stuttgart.
- Ciccacci, S., Fredi, P., Lupia Palmieri, E., Pugliese, F., 1980: Contributo dell'analisi geomorfica quantitativa alla valutazione dell'entità dell'erosione nei bacini fluviali. *Bollettino della Società Geologica Italiana* 99. Roma.
- D'Alessandro, L., Del Monte, M., Fredi, P., Lupia Palmieri, E., Peppoloni, S., 1999: Hypsometric analysis in the study of Italian drainage basin morphoevolution. *Transactions, Japanese Geomorphological Union* 20–23. Kyoto.
- Davis W. M. 1899: The geographical cycle. *Geographical Journal* 14. London.
- Eastman, J. R. 1995: IDRISI for Windows. User's Guide. Worcester.
- Geodetska uprava Republike Slovenije: Digitalni modeli višin (DMV). Medmrežje: <http://www.gu.gov.si/index.php?id=9909#13332> (1. 6. 2006)
- Horton, R. E. 1945: Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological society of America* 56. New York.
- Hrvatin, M., Perko, D. 2002: Ugotavljanje ukrivljenosti površja z digitalnim modelom višin in njena uporabnost v geomorfologiji. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2001–2002*. Ljubljana.
- Hrvatin, M., Perko, D. 2005: Differences between 100-meter and 25-meter digital elevation models according to types of relief in Slovenia. *Acta geographica Slovenica* 45–1. Ljubljana.
- Langbein, W. B. 1947: Topographic characteristics of drainage basin. *Water Supply Paper* 968-C. Denver.
- Lindsay, J. B., 2005: The Terrain Analysis System: a tool for hydro-geomorphic applications. *Hydrological processes* 19. Chichester.
- Luo, W. 1998: Hypsometric analysis with geographic information system. *Computers & Geosciences* 24–8. Oxford, New York.
- Lupia Palmieri, E., 2004: Hypsometric analysis. *Encyclopedia of geomorphology* 1. London.
- Mackin, J. J. 1948: Concept of the graded river. *Bulletin of the Geological society of America* 59. New York.
- Marchetti, M., 2000: *Geomorfologia fluviale*. Bologna.
- McCoy, J., Johnston, K. 2001: *Using ArcGIS Spatial Analyst*. Redlands.
- Ohmori, H. 1993: Changes in the hypsometric curve through mountain building resulting from concurrent tectonics and denudation. *Geomorphology* 8. Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo.
- Perko, D. 2001: Analiza površja Slovenije s stometrskim digitalnim modelom reliefa. *Geografija Slovenije* 3. Ljubljana.
- Perko, D. 2002: Določanje vodoravne in navpične razgibanosti površja z digitalnim modelom višin. *Geografski vestnik* 74-2. 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.

Shaner, J., Wrightsell, J. 2000: Editing in ArcMap. Redlands.

Strahler, A. N., 1952: Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Bulletin of the Geological society of America 63. New York.

Strahler, A. N., 1957: Quantitative analysis of watershed geomorphology. Transaction of the American Geophysical Union 38. Washington.

Tucker, C. 2000: Using ArcToolbox. Redlands.



## GEOINFORMACIJSKA ORODJA IN OBDELAVA PODATKOV BIOINDIKATORSKIH METOD

**dr. Natalija Špeh**

*ERICo Velenje, Inštitut za ekološke raziskave*

*Koroška cesta 58, 3320 Velenje*

*natalija.speh@erico.si*

UDK: 504.05:659.2:004 (497.4)

### IZVLEČEK

#### **Geoinformacijska orodja in obdelava podatkov bioindikatorskih metod**

Zaradi številnosti podatkov bioindikatorskih metod, ki ugotavljajo onesnaženje okolja s pomočjo živih organizmov (bioindikatorjev), smo z uporabo geografskega informacijskega sistema sintezno prikazali stanje obremenjenosti pokrajine s poudarkom na zraku. Bolj običajno tovrstne podatke razlagajo statistično, GIS orodja pa omogočajo nazornejši, prostorski prikaz. S tem se razširijo možnosti njihove nadaljnje uporabe, npr. v prostorsko-planerski stroki (prostorske strategije in akti lokalnih skupnosti).

### KLJUČNE BESEDE

*bioindikatorske metode, stanje okolja, geografski informacijski sistem, Šaleška dolina, Slovenija*

### ABSTRACT

#### **Geoinformatic tools and processing the data of bioindication methods**

Because of the number of bioindication methods' data, which enable us to establish the environmental state using living organisms (bioindicators), we made GIS application for synthesis presentation of the landscape burdening state focussed on the landscape source of air. Usually the bioindication data are processed statistically, whereas GIS tools provide more evident spatial presentation. Also the possibilities of the data further usage widen, eg. in spatial planning (spatial strategies and documents of communities).

### KEYWORDS

*bioindication methods, environmental state, geographical information system, Šalek Valley, Slovenia*

## 1 Uvod

Bioindikatorske metode, s katerimi zaznavamo stanje okolja, za obdelavo podatkov najpogosteje uporabljajo statistični pristop. V prispevku pa predstavljamo poskus sinteznega prikaza stanja pokrajinskih virov s poudarkom na zraku, opravljen na podlagi podatkov za različne bioindikatorje, tj. žive organizme, ki na spremembe v okolju ustrezno (merljivo) reagirajo.

Geografske sinteze večkrat zahtevajo primerjavo podatkov, ki so bili pridobljeni z različnimi metodološkimi pristopi, meritve pa opravljene na različnih pokrajinskih (okoljskih) virih. Velikokrat je dovolj, če primerjamo gibanje vrednosti podatkov (trende) v različnih časovnih obdobjih izvajanja meritev, če pa lokacijam (vzorčevalnim mestom), kjer smo meritve opravljali, dodamo prostorsko dimenzijo, dobijo izmerjeni rezultati dodatno (sporočilno in strokovno) vrednost. Hkrati se ponudijo možnosti njihove uporabe tudi v drugih strokah, npr. prostorskem načrtovanju, ki potrebuje tovrstne strokovne podlage za sonaravno in trajnostno umeščanje dejavnosti v prostor. Brez tega pristopa je namreč načrtovanje prostora lahko zopet le povod in vir nadaljnega obremenjevanja in pritiskov na okolje in njegove vire.

Prikazano ocenjevanje obremenjenosti zraka s pomočjo bioindikatorjev temelji na pokrajinskoekološki členitvi prostora (členitev obravnavanega območja na pokrajinskoekološke enote, oprte na višinsko regionalizacijo). Glede na razpoložljive bioindikatorske kazalce o kakovosti zraka smo opredelili območja dosežene stopnje razvrednotenja okolja z vidika obremenjevanja zraka v Šaleški dolini. Pridobljene ugotovitve so lahko v pomoč pri oblikovanju ocen še sprejemljivega obsega obremenitve in predlogov stopnje varovanja okolja pred obremenitvami, vključno z območji, v katerih zaradi čezmerne obremenjenosti novi obremenjujoči posegi v okolje niso dovoljeni. Te ocene in predloge pa bi bilo možno oblikovati šele po opravljeni kompleksni študiji ranljivosti in občutljivosti okolja, ki jo sestavljajo kakovostna in količinska analiza okolja in vseh njegovih sestavin, njegove občutljivosti glede nadaljnjih posegov v okolje, ocena regeneracijskih in nevtralizacijskih sposobnosti okolja ter končno, ocena integralne obremenjenosti okolja (Špes et al. 2002).

## 2 Metodologija

Na podlagi podatkov bioindikatorskih metod, ki zaznavajo onesnaženje v okolju s pomočjo živih organizmov (bioindikatorjev), smo ugotavljali posledice pritiskov na kakovost zraka Šaleške doline, ki jih v največji meri povzroča Termoelektrarna Šoštanj s svojo aktivnostjo. Obremenjenost zraka smo ocenili z naslednjimi kazalci: indeks zračne čistosti (Poličnik 2005), vsebnost celokupnega žvepla v iglicah smreke in delež poškodovanosti listov tobaka kot učinek onesnaženja zraka s troposferskim ozonom. Ozemlje Šaleške doline smo razčlenili na pet pokrajinskoekoloških enot (PEE), na podlagi uveljavljenih razvrstitev v razrede za posamezen kazalec pa uskladili vrednostne lestvice v enotno razredno razvrstitev in oblikovali lestvico s štirimi razredi.

Posamezne bioindikatorske kazalce onesnaženosti zraka smo predstavili tudi kartografsko ter jih s prekrivanjem združili v sinteznem zemljevidu, ki prikazuje stanje razvrednotenja obravnavanega okoljskega (pokrajinskega) vira – zraka (nabor bioindikatorskih kazalcev vrednotenja stanja zraka v Šaleški dolini je bil odvisen od razpoložljivosti podatkov). Ocena obremenjenosti zraka v Šaleški dolini velja za leto 2004.

## 3 Rezultati in razprava

### 3.1 Pokrajinskoekološka členitev območja raziskave

Pokrajinskoekološka analiza pokrajiniotvornih sestavin (okoljskih virov) v okviru pokrajinskoekoloških enot (PEE) nudi podlago za oceno (skupne) ranljivosti in obremenjenosti pokrajinskih enot.

Družbenogeografske sestavine so vključene pri obravnavanih pokrajiniotvornih elementih z vidika ocenjevanja obremenjenosti (emisije, ostale obremenitve in motnje kot posledica človekovih dejavnosti) (Špes et al. 1995). Celovito poznavanje sestave in delovanja geografskega okolja in njegovih sestavin je osnovni strokovni pripomoček za realno oceno pokrajinskih posegov in za izbor poti celostnega reševanja pokrajinskodegradacijskih pojavov ter predloga optimalne pokrajinske rabe (Plut et al. 2000).

*Preglednica 2: Pokrajinskoekološke enote Šaleške doline.*

pokrajinskoekološka enota	površina (v %) n. v.	n. v.
kotlinsko dno ob Paki in jezerih ter njihovih pritokih	41,6	do 375 m
gričevje	19,8	376–575 m
nizko hribovje vzhodnih Karavank	24,0	576–975 m
visoko hribovje vzhodnih Karavank	10,2	976–1375 m
Smrekovsko pogorje	4,4	1376–1577 m

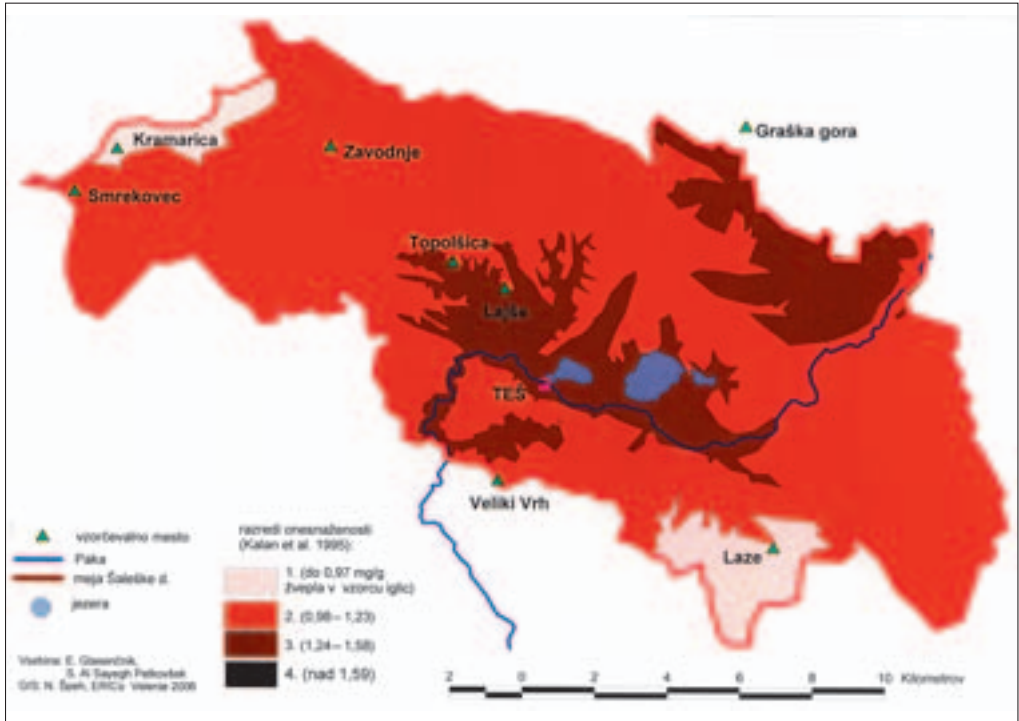
Geomorfološko gledano predstavlja obravnavano geografsko območje Šaleške doline na vzhodu in zahodu zaključeno in samostojno reliefno enoto amfiteatralne kotlinaste oblike. Celoten prostor Šaleške doline (179,6 km<sup>2</sup>) smo kljub omejenosti glede na Gamsovo (1996) višinsko razdelitev po stometrijskih pasovih, ki samo izjemoma površje do 200 m nad morjem uvršča med gričevje (nadmorske višine našega preučevanega območja so v razponu od 360 do 1596 m), razločili 5 pokrajinskoekoloških enot (Špeh 2003; Poličnik et al. 2005):

- najnižje, ravninske dele predstavlja zaradi podzemne premogovniške dejavnosti ojezerjeno kotlinsko dno ob reki Paki in njenih pritokih, antropogeno nastala tri jezera (Družmirsko, Velenjsko in najstarejše Škalsko jezero) ter naplavine spodnjih delov njihovih pritokov. Gre za uravnan svet na aluvialnih nanosih, ki je namenjen intenzivni kmetijski rabi tal (njivske in travniške površine), vmes pa so zaplate, porasle z varovalnim gozdom, ali pa je pokrajina močno urbanizirana.
- pokrajinskoekološka enota gričevje zavzema višje, slemenaste predele nad dolinami jezerskih pritokov (predstavljajo ga kmetijske in gozdne površine) ter agrarno pokrajino strnjenih naselij ter njihovih bolj razloženo poseljenih delov. Lahko bi govorili tudi o termalnem pasu, kjer zaradi ugodnejše klime uspevajo tudi občutljivejše kulture, npr. sadno drevje.
- nizko hribovje vzhodnih Karavank – jugozahodno pobočje karbonatne in zakrasele Vodemle ter njeno razpršeno poseljeno vznožje, kjer se izmenično pojavljajo mešane kmetijske površine. Najstrmejše in vrhnje dele prerašča gozd.
- visoko hribovje vzhodnih Karavank – zaobljeni vrhovi pobočij, večinoma poraščeni z gozdom in vmesnimi samotnimi kmetijami – celki, obkroža in hkrati zaključuje amfiteatralno obliko obravnavanega območja.
- vulkansko pogorje Smrekovca (1577 m); zelo redko (ponekod le občasno) poseljeno območje v skrajnem zahodnem delu preučevanega območja, izmenoma poraščeno z gozdom in gorskimi travniki. Območje je zaradi ohranjenih naravnih vrednot (prostoživeče živalske vrste, botanično izjemna biotska pestrost) vključeno v evropsko omrežje zavarovanih območij Natura 2000.

### 3.2 Smreka kot bioindikator

Kazalec onesnaženosti zraka te bioindikatorske metode je celokupna vsebnost žvepla v iglicah tekočega letnika. Rezultati meritev pokažejo oceno stanja gozdnega ekosistema na osnovi ekofizioloških pokazateljev stresa v iglicah (Glasečnik in Al Sayegh Petkovšek 2005). Kazalec se vsebinsko in funkcionalno smiselno navezuje na ostale bioindikatorje, predvsem lišaje, ki prav tako odražajo obremenjenost zraka v gozdnem ekosistemu. Podatke o vsebnostih žvepla, izmerjenih za vzorce smrekovih iglic na osmih





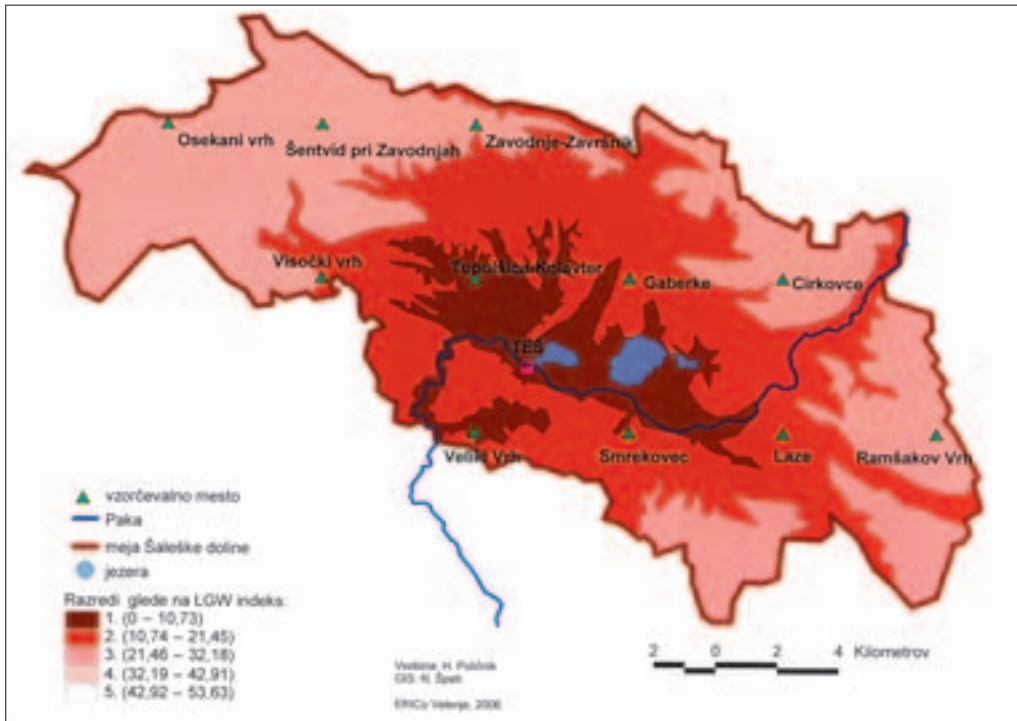
Slika 1: Ocene obremenjenosti zraka po pokrajinskoekoloških enotah Šaleške doline glede na kazalec celokupne vsebnosti žvepla v iglicah (Glasenčnik, Al Sayegh Petkovšek 2005).

vzorčevalnih mestih v Šaleški dolini, smo glede na uveljavljeno kategorizacijo (Kalan et al. 1995) kartografsko prikazali lego vzorčevalnih mest in razrede (slika 1), v katere sodijo smreke glede na celokupno vsebnost žvepla v njihovih iglicah, po posameznih pokrajinskoekoloških enotah.

Iz slike 1 razberemo, da je zrak najbolj obremenjen v neposredni bližini vira emisij – šoštanjске termoelektrarne v PEE 1; meritve iz leta 2004 uvrščajo vzorce z dveh lokacij v tretji razred, ki že pomeni možne in pričakovane poškodbe drevja, medtem ko imajo smrekove iglice na tretji lokaciji izmerjeno celokupno vsebnost žvepla v okvirih naravne vsebnosti in pripada 1. kakovostnemu razredu. V PEE 2 se nahaja le eno vzorčevalno mesto južno od opazovanega vira emisij, iglice smreke pa so imele ob zadnjih meritvah vsebnost žvepla, ustrezno drugemu razredu. Tudi v PEE 3 je le eno vzorčevalno mesto na Graški gori, glede na vsebnost žvepla v vzorcu iglic pa se uvršča v tretji razred (možne in pričakovane so poškodbe drev). Edina lokacija v PEE 4 se po izmerjenih podatkih uvršča v drugi razred. Najmanj žvepla leta 2004 so imele iglice z lokacije Kramarica v PEE 5; po meritvah vsebnosti žvepla smo jo uvrstili v 1. razred (do 0,97 mg/g), ki ustreza naravni vsebnosti žvepla.

### 3.3 Lišaji kot bioindikator

Pri bioindikatorski metodi z lišaji se onesnaženost zraka ocenjuje s podatki za indekse zračne čistosti. Prvič v letu 1994, neprekinjeno pa od leta 2002 se v Šaleški dolini izvaja kartiranje epifitskih lišajev, ker se reakcija lišajev na onesnaženost zraka izkazuje z različno vrstno sestavo epifitov, meri pa se tudi vsebnost težkih kovin v lišajih kot akumulacijskih indikatorjih. Za ocenjevanje onesnaženosti zraka, računanje indeksov zračne čistosti in umestitev območij v razrede čistosti smo uporabili mednarod-



Slika 2: Ocene obremenjenosti zraka po pokrajinskoekoloških enotah Šaleške doline glede na indeks zračne čistosti (Poličnik 2005).

no primerljivo metodo, po kateri se stopnje (razredi) onesnaženosti določajo z indeksom (višji indeks pomeni višji razred oziroma bolj čist zrak). Rezultate analiz in meritev smo tudi prostorsko ovrednotili in prikazali (slika 2). Vrednosti indeksa, izračunanega na podlagi zadnjih meritev iz leta 2004, uvrščajo 12,9 % površja Šaleške doline v najnižji razred, ki pomeni tudi najbolj onesnažen zrak (vrednost indeksa od 0 do 10,73). Gre za jezersko pokrajino ter srednji del porečja Pake z najnižjimi nadmorskimi višinami (PEE 1) ob neposredni bližini vira onesnaževanja – šoštanjске termoelektrarne. 41,2 % ozemlja Šaleške doline pripada glede na obravnavani kazalec zračne čistosti drugemu najbolj 'onesnaženemu' razredu (vrednost indeksa se giblje med 10,74–21,45), in se prekriva s PEE 2 – gričevje, ki obrobja dno Šaleške doline. Skoraj polovico (45,9 %) obravnavanega območja spada v tretji razred onesnaženosti zraka po lestvici izbrane metode in zavzema glede na nadmorsko višino preostale tri najvišje ležeče PEE.

### 3.4 Tobak kot bioindikator

Onesnaženost zraka Šaleške doline smo ocenili tudi z bioindikatorskim kazalcem vpliva troposferskega ozona glede na delež poškodovanosti listov tobaka. Na podlagi meritev in podatkov (med letoma 2002 in 2004) smo želeli ugotoviti prostorsko razporeditev posledic učinkovanja troposferskega ozona na kmetijske rastline v Šaleški dolini. Tobak je bil izpostavljen v urbanih in ruralnih območjih. Izračunana je bila povprečna poškodovanost listov v vegetacijski dobi za omenjeno časovno obdobje treh let in opredeljen delež poškodovanosti listov tobaka (ocenjen v odstotkih).

Večina ozemlja (78,7 %) Šaleške doline spada glede na preučevani kazalec obremenjenosti zraka v tretji razred, največji vpliv troposferskega ozona na poškodovanost listnih površin tobaka pa je bil



Slika 3: Obremenjenost zraka Šaleške doline s troposferskim ozonom glede na delež poškodovanosti listov tobaka (Kopušar 2005).

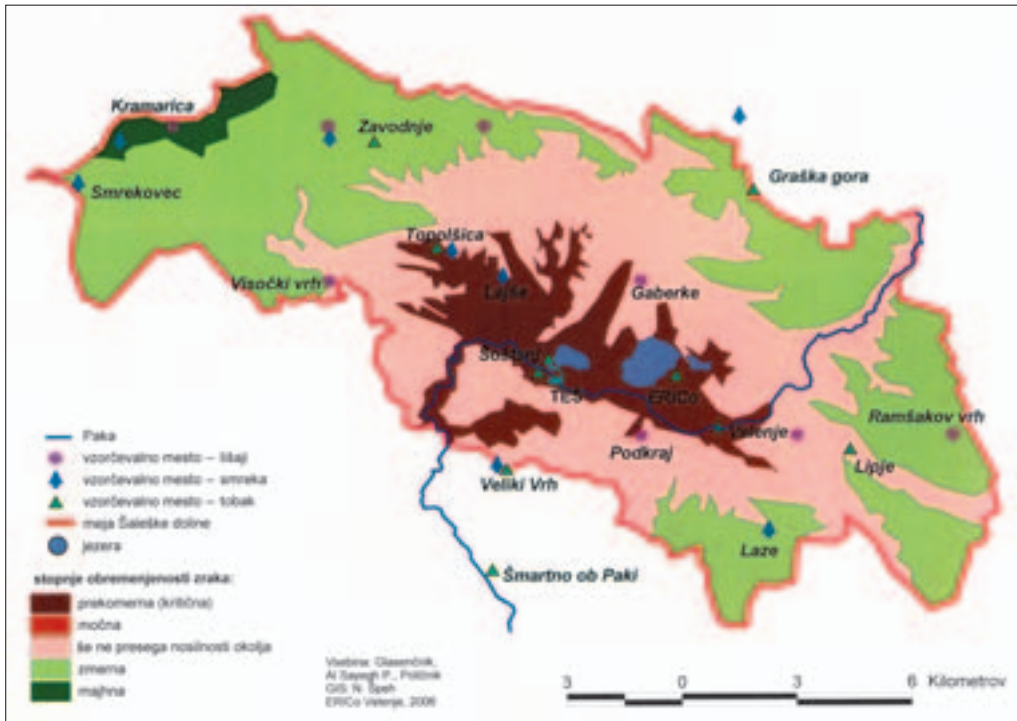
ocenjen na območju PEE 3 – nizko hribovje vzhodnih Karavank) in Velikega Vrha v PEE 2 – gričevje (21,3 % površja Šaleške doline) (slika 3).

### 3.5 Ocena obremenjenosti (onesnaženosti) zraka v Šaleški dolini

Zakon o varstvu okolja (UL RS 39/2006) opredeljuje kot obremenjenost okolja vsak poseg oziroma posledico posega v okolje, ki je izključno ali hkrati povzročila ali povzroča onesnaženje (razvrstitev) okolja, tveganje za okolje ali poškodbo okolja ter rabo in izkoriščanje naravnih dobrin.

Doseženo stopnjo obremenjenosti okolja z vidika zraka smo prikazali s prekrivanjem posameznih zemljevidov (slike 1, 2, 3), nastalih na podlagi podatkov za kakovost (stanje obremenjenosti) zraka z bioindikatorskimi kazalci celokupne vsebnosti žvepla v iglicah smreke, indeksom zračne čistosti (LGW), pridobljenim s kartiranjem in analizo težkih kovin v lišajih ter oceno vpliva troposferskega ozona glede na delež poškodovanosti listnih površin tobaka. Ob razlagi sinteznega zemljevida (slika 4), ki prikazuje območja Šaleške doline z različno *stopnjo obremenjenosti zraka*, ugotavljamo, da (Poličnik et al. 2005):

1. se 12,9 % površja nahaja v najbolj onesnaženem območju s **prekomerno (kritično)** obremenjenostjo zraka ob neposredni bližini vira – TEŠ-a (območje se nahaja na ozemlju PEE 1),
2. območje z **močno obremenjenim** zrakom se ne pojavlja,
3. drugi največji delež (41,2 %) predstavljajo tisti predeli doline, kjer **obremenjevanje še ni preseglo samočistilnih in regeneracijskih sposobnosti (nosilnosti) okolja**; območje se nahaja v gričevnati PEE 2,



Slika 4: Členitev Šaleške doline glede na stopnjo obremenjenosti zraka, stanje leta 2004 (po bioindikatorskih kazalcih indeksa zračne čistosti, vsebnosti žvepla v iglicah smreke in ocene vpliva troposferskega ozona glede na delež poškodovanosti listnih površin tobaka).

4. največ je površja z **zmerno obremenjenim** zrakom (43,9%), ki večinoma sovпада s PEE 3 in 4 – visoko in nizko hribovje vzhodnih Karavank ter PEE 1 v skrajnem jugovzhodnem delu doline (Dobrnško podolje in Šentiljska kotlina),
5. najmanj onesažen zrak (**majhna obremenjenost**) je v severni polovici PEE 5 – Smrekovško pogorje in predstavlja 2 % površja Šaleške doline.

## 4 Sklep

Kot najbolj reprezentativen za ugotavljanje stanja (obremenjenosti / čistosti) zraka se je izkazal kazalec LGW indeksa, ker je mreža vzorčevalnih mest postavljena sistematično, 4 krat 4 km. Pri kazalcih vsebnosti celokupnega žvepla v smrekovih iglicah in deleža poškodovanosti listnih površin tobaka so bile lokacije izbrane naključno, na gozdnih površinah vzpetin in slemen, predvidenih kot vplivno območje šoštanjске termoelektrarne.

Predstavljeno uporabo GISa pri vrednotenju preučevanega pokrajinskega vira s podatki bioindikatorskih metod ocenjujemo kot delno ustrezno, ob izpolnjevanju naslednjih pogojev pa bi se primernost njene uporabe izboljšala:

- večje število med sabo primerljivih kazalcev naravnih in družbenih pokrajinskih virov, ki bi zmanjšali negativen učinek posploševanja (generalizacije) ter zvečali relevantnost in pomen sinteznega prikaza,

- bolj gosta mreža merilnih (vzorčevalnih) mest in vključitev večjega števila lokacij (vzorčevalnih mest) iz vzhodnega dela Šaleške doline,
- dodati tudi kazalce, ki bi predstavljali še druge vire antropogenega obremenjevanja zraka v dolini in ne samo šoštanjske termoelektrarne.

*Preglednica 2: Pomanjkljivosti in prednosti uporabljene aplikacije GISa pri sintezi podatkov bioindikatorskih metod.*

pomanjkljivosti	prednosti
majhno število kazalcev generalizacija (posploševanje) ni podatkov (vzorčevalnih mest) za vzhodni del preučevanega ozemlja ne vključeni ostali antropogeni viri obremenjevanja zraka	bolj nazoren, prostorski prikaz številnih podatkov iz preglednic možnost prekrivanja slojev (značilnosti) posameznih kazalcev možnost združevanja naravnih in družbenih značilnosti (kazalcev) možnost vrednotenja posameznega okoljskega (pokrajinskega) vira ali različne kombinacije le-teh

## 5 Viri in literatura

- Gams, I. 1996: Geografske značilnosti Slovenije za srednje šole. Ljubljana.
- Glšenčnik, E., Al Sayegh Petkovšek, S. 2005: Biomonitoring gozdnega ekosistema po zmanjšanju emisije iz Termoelektrarne Šoštanj. Poročilo, DP 16/02/05. ERICo Velenje, Inštitut za ekološke raziskave. Velenje.
- Kalan, J., Kalan, P., Simončič, P. 1995: Bioindikacija onesnaženosti gozdov z žveplom na podlagi vsebnosti žvepla v asimilacijskih delih gozdnega drevja. Zbornik Gozdarstva in lesarstva, 47. Ljubljana.
- Kopušar, N. 2005: Preučevanje interakcije vplivov O<sub>3</sub> in N na indikatorske rastline v ruralnih območjih Šaleške doline. Letno poročilo, DP 6/02/05. ERICo Velenje, Inštitut za ekološke raziskave. Velenje.
- Plut, D., Špes, M., Hudoklin, J., Brečko Grubar V., Jankovič L. 2000: Varstvo okolja in prostorski razvoj Slovenije (raziskovalna naloga). Znanstveni inštitut FF Ljubljana, Acer. Novo mesto.
- Poličnik H. 2005: Ugotavljanje onesnaženosti zraka s kartiranjem lišajev in akumulacijo težkih kovin v lišajih. Poročilo, DP 4/02/05. ERICo Inštitut za ekološke raziskave. Velenje.
- Poličnik, H., Al Sayegh-Petkovšek, S., Kopušar, N., Špeh, N., Justin, B., Pavšek, Z., Šalej, M., Glasenčnik, E. 2005: Termoelektrarna Šoštanj in prekomejno onesnaževanje zraka v letih 1987–2004. Končno poročilo, DP 24/02/05. ERICo Inštitut za ekološke raziskave. Velenje.
- Špeh, N. 2003: Sonaravno vrednotenje površja nad zahodnim delom Velenjske premogovne kadunje. Doktorska disertacija, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani, Oddelek za geografijo. Ljubljana.
- Špes, M., Bat, M., Gabrovec, M., Hočvar, M., Natek, K., Natek, M., Plut, D., Sadar, K., Šebenik, I. 1995: Ranljivost okolja v novomeški občini. Inštitut za geografijo. Ljubljana.
- Špes, M., Cigale, D., Lampič, B., Natek, K., Plut, D., Šmrekar, A. 2002: Študija ranljivosti okolja (metodologija in aplikacija). Geographica Slovenica 35/1-2. Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU. Ljubljana.
- Zakon o varstvu okolja (ZVO-1-UPB1). Ur. l. št. 39/2006.

## PROSTORSKA PORAZDELITEV TRAJANJA SONČNEGA OBSEVANJA

**Mojca Dolinar**

Agencija Republike Slovenije za okolje  
Vojkova cesta 1B, 1000 Ljubljana  
m.dolinar@gov.si

UDK: 551.521:528.94(497.4)  
659.2:004:91

### IZVLEČEK

#### **Prostorska porazdelitev trajanja sončnega obsevanja**

Glavni namen predstavljene študije je izračun prostorske porazdelitve trajanja sončnega obsevanja v referenčnem obdobju 1971–2000. Trajanje sončnega obsevanja se zaradi ovir precej skrajša. Ker se vpliv ovir spremeni že ob majhnem prostorskem premiku, smo trajanje preračunali na matematični horizont. Tako smo na kartah prikazali le klimatološke značilnosti trajanja sončnega obsevanja, medtem ko vpliv ovir dodatno ocenimo za vsako lokacijo posebej. Prostorski vzorec trajanja sončnega obsevanja se med sezonskim ciklom obrne, zaradi česar se značilen prostorski vzorec na letni ravni zabriše. Zato smo prostorsko porazdelitev trajanja sončnega obsevanja računali po letnih časih. Interpolacijski model je kombinacija multivariatnega regresijskega modela, kriginga in enostavnih matematičnih modelov. Za vsak letni čas smo naredili regionalizacijo Slovenije glede na značilnosti trajanja sončnega obsevanja in za vsako regijo posebej določili interpolacijski model. Končne karte so izračunane na sezonski ravni z ločljivostjo 1 km.

### KLJUČNE BESEDE

trajanje sončnega obsevanja, prostorska interpolacija, kriging, klimatske karte, digitalni model reliefa, geografski informacijski sistem

### ABSTRACT

#### **Spatial interpolation of sunshine duration**

The objective of present study is the calculation of spatial distribution of sunshine duration for the territory of Slovenia. Four maps in 1 km resolution are prepared to present spatial distribution of sunshine duration for winter, spring, summer and autumn. The values on all four maps are 30-year mean seasonal sunshine duration, calculated from measurements on 43 meteorological stations in the reference period 1971–2000. The seasonal presentation is chosen due to high inter-seasonal variability in spatial distribution of sunshine duration. The values on the maps are calculated on a mathematical horizon, to avoid the influence of geographical, urban and vegetation obstacles. The interpolation model is a combination of multivariate regression model, residual kriging and simple mathematical models. Geographical variables (altitude, latitude and longitude) are used in models to explain the spatial variability of sunshine duration. For each season, regionalisation is preformed, based on sunshine duration data, derived geographical data and radio-sounding data. The interpolation models are developed for every region separately and afterwards the calculated layers are merged using GIS techniques.

### KEYWORDS

sunshine duration, spatial interpolation, kriging, climatological maps, digital terrain model, geographical information system

## 1 Uvod

Energija sončnega obsevanja je eden pomembnejših obnovljivih virov energije v Sloveniji, zato je povpraševanje po nadrobni klimatologiji sončnega sevanja vedno večje (Medved et al. 2001). Trajanje sončnega obsevanja se meri že vrsto let, saj je merjenje s pomočjo okrogle leče dokaj enostavno. Zaradi pomanjkanja meritev energije sončnega obsevanja si s trajanjem lahko pomagamo pri oceni energije sončnega sevanja. Za referenčno obdobje 1971–2000 smo imeli na voljo 43 lokacij z meritvami trajanja sončnega obsevanja (Ovsenik-Jeglič 2004), medtem ko smo imeli za isto obdobje na voljo le eno lokacijo s kontinuiranimi meritvami energije sončnega sevanja. To je bil glavni razlog, da smo se odločili za izračun prostorske porazdelitve trajanja sončnega obsevanja na matematični horizont. Na ta način so predstavljene le klimatološke značilnosti trajanja sončnega obsevanja (neodvisno od geografskih in drugih ovir) in te sezonske karte lahko služijo kot vhod v različne modela za oceno energije sončnega obsevanja.

Trajanje sončnega obsevanja je močno odvisno od nadmorske višine, vendar se ta odvisnost iz meseca v mesec močno spreminja (Hočevnar et al. 1982). Zaradi pogoste megle in nizke oblačnosti v dolinah, kotlinah in večjih ravninah, imamo v zimskih in jesenskih mesecih več sončnih ur v višjih legah. Nasprotno pa je v pomladanskih in poletnih mesecih več sonca nad večjimi ravninami, saj se v tem delu leta najpogosteje formirajo konvektivni oblaki v hribih in njihovi bližini. Zaradi tolikšne razlike odvisnosti trajanja sončnega obsevanja od nadmorske višine smo prostorsko porazdelitev računali ločeno po letnih časih. Za vsak letni čas smo Slovenijo razdelili na regije z značilnim interpolacijskim modelom.

Geografski informacijski sistemi so hitro razvijajoče in močno orodje, ki imajo vedno večji pomen v okoljskih znanostih, tudi v klimatologiji (Dobesch et al. 2001). V predstavljeni študiji so bile funkcionalnosti GIS uporabljene za zelo širok spekter nalog: računanje izpeljanih geografskih spremenljivk, regionalizacijo, razvoj in izvajanje interpolacijskih modelov, spajanje rezultatov prostorske interpolacije po regijah in končno tudi za vizualizacijo končnih rezultatov in njihovo kartiranje.

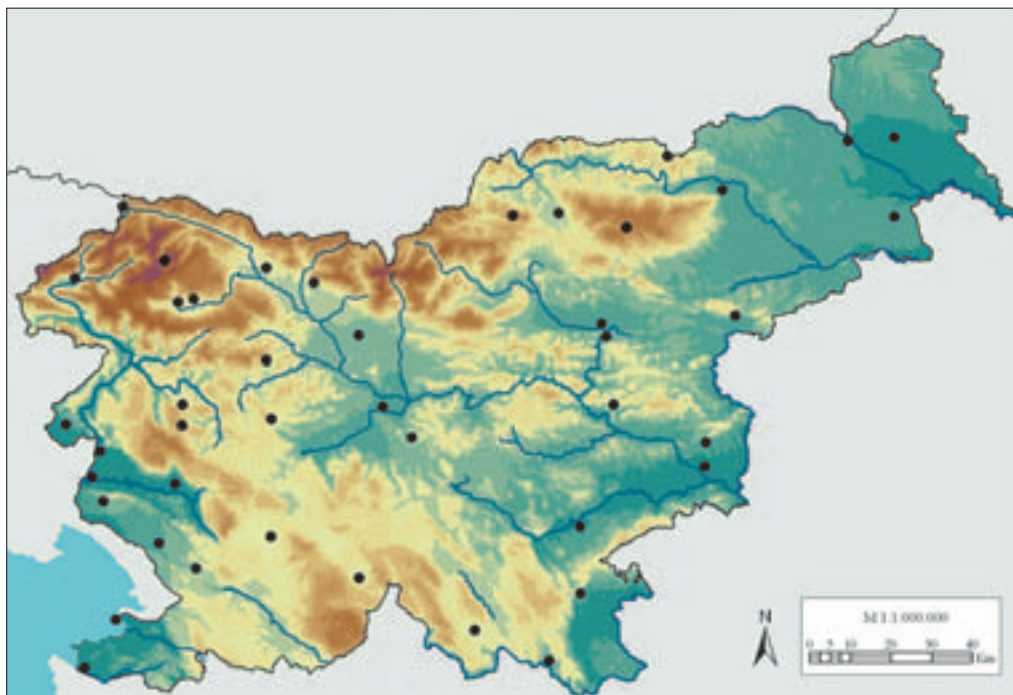
## 2 Podatki

Pri računanju prostorske porazdelitve trajanja sončnega obsevanja smo uporabili dva osnovna tipa podatkov:

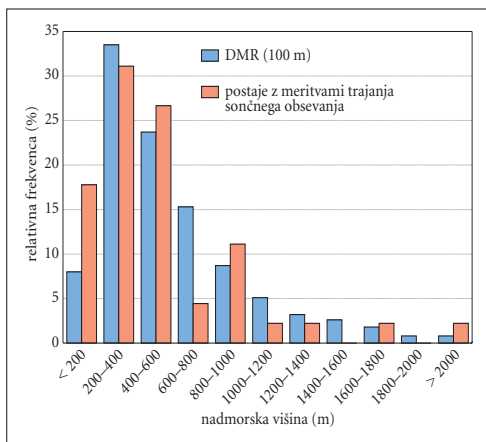
- Klimatološke podatke
- Geografske podatke

V referenčnem obdobju 1971–2000 je bilo trajanje sončnega obsevanja kontinuirano merjeno na 19 merilnih točkah po Sloveniji. Poleg teh, smo imeli na voljo še podatke iz 24 merilnih točk z vsaj 5 let neprekinjenih meritev v tem istem obdobju. Manjkajoče podatke na teh postajah smo interpolirali na dnevni ravni. Kot pojasnjevalne spremenljivke smo uporabili meritve energije globalnega in direktnega sončnega obsevanja, če so bile te na voljo. Sicer smo za časovno-prostorsko interpolacijo kot pojasnjevalni spremenljivki uporabili trajanje sončnega obsevanja in oblačnost iz najbližjih meteoroloških postaj. Prostorska porazdelitev 43 merilnih mest na teritoriju Slovenije je prikazana na sliki 1. Porazdelitev postaj z meritvami trajanja sončnega obsevanja, ki jih upravlja Agencija RS za okolje (ARSO) glede na nadmorsko višino je skladna s porazdelitvijo terena Slovenije po nadmorski višini (slika 2), z najvišjo merilno postajo na Kredarici (2514 m).

Višino baze konvektivnih oblakov v poletnih in pomladnih mesecih in višino jezer hladnega zraka v jesenskih in zimskih mesecih smo določili s pomočjo vertikalnih profilov temperature in vlage, ki jih izmerimo z radiosondažnimi meritvami. Take meritve izvaja ARSO nad Ljubljano, vsako jutro ob 7. uri po sončnem času. Meritve so reprezentativne za Ljubljansko kotlino in vse večje kotline v Sloveniji. Glede na merilo, ki smo ga pri prostorski interpolaciji zajeli, lahko te meritve vzamemo za reprezentativne za vse kotlinske oblike, ki smo jih v analizi zajeli. V primeru manjkajočih meritev smo



Slika 1: Postaje z meritvami trajanja sončnega sevanja na ozemlju Slovenije.



Slika 2: Porazdelitev terena Slovenije (DMR 100 m) in merilnih postaj s trajanjem sončnega sevanja po nadmorski višini.

radiosondažne meritve Ljubljane nadomestili z radiosondažnimi meritvami nad Udinami (Vidmom) in Zagrebom. Tudi te meritve so vsaj v grobem reprezentativne tudi za Slovenijo.

Za regionalizacijo in prostorsko interpolacijo so zelo pomembne geografske spremenljivke. Geografska dolžina in širina, nadmorska višina in druge geografske spremenljivke, ki določajo značilnosti merilnega mesta, so bile zbrane iz metapodatkovne baze ARSO. Za ostalo območje Slovenije smo geografske podatke dobili ali izračunali iz DMR z ločljivostjo 100 ali 25 m. Zunaj območja Slovenije smo uporabili podatke GTOPO (Medmrežje 1 2004).



### 3 Metode

Prostorsko porazdelitev trajanja sončnega obsevanja po sezonah smo izračunali z objektivnimi metodami prostorske interpolacije (Cressie 1993, Issaks in Srivastava 1989, Daley 1991). Razdelitev po sezonah smo izbrali zaradi velike medsezonske spremenljivosti trajanja sončnega obsevanja, ki bi se na letni ravni popolnoma zabilasala.

Najprej smo meritve trajanja sončnega obsevanja na dnevni ravni korigirali na matematični horizont. Na ta način smo meritve očistili vseh vplivov orografskih, urbanih in vegetacijskih ovir, ter izolirali spremenljivost trajanja sončnega obsevanja le v okviru vremenskih vplivov.

Za vsak letni čas smo naredili regionalizacijo na podlagi povprečnih vrednosti trajanja sončnega obsevanja v sezoni, geografskih spremenljivk in vertikalnih profilov temperature in vlage. Z modeliranjem v GIS (Hrvat in Perko 2002) smo izolirali kotline, doline in večje ravnine na podlagi DMR (z ločljivostjo 100 in 25 m). Njihove meje smo določili iz vertikalnih profilov vlage in temperature ter vertikalnega gradienta v trajanju sončnega obsevanja.

Model prostorske interpolacije smo razvili za vsako regijo in letni čas posebej. Vsak model je bil pravzaprav kombinacija enostavnejših determinističnih in stohastičnih metod za interpolacijo: multivariatnega regresijskega modela, kriginga in enostavnih matematičnih modelov. V primerih, ko smo imeli v določeni regiji zelo majhno število merilnih točk, za prostorsko interpolacijo nismo mogli uporabiti stohastičnih metod (kot so metode kriginga), zato smo jih nadomestili z deterministično metodo prostorske interpolacije z utežmi, ki so obratno sorazmerne z razdaljo med točkami.

Pojasnevalne spremenljivke za deterministični del interpolacijskega modela smo izbrali z multivariatno regresijsko analizo. V večini primerov smo velik delež prostorske spremenljivosti v trajanju sončnega obsevanja lahko pojasnili z nadmorsko višino, v nekaterih primerih sta statistično značilno izboljšali linearni model tudi geografska dolžina in širina. Vpliv ostalih orografskih oblik (konkavnost in konveksnost) smo izločili že z regionalizacijo. Za vrednotenje interpolacijskih modelov in rezultatov prostorske interpolacije smo uporabili metodo navzkrižnega preverjanja (Cressie 1993, in Srivastava 1989). Bolj podroben opis geostatističnih metod in metod vrednotenja rezultatov je opisan v Isacs in Srivastava (1989), Cressie (1993) in drugi geostatistični literaturi.

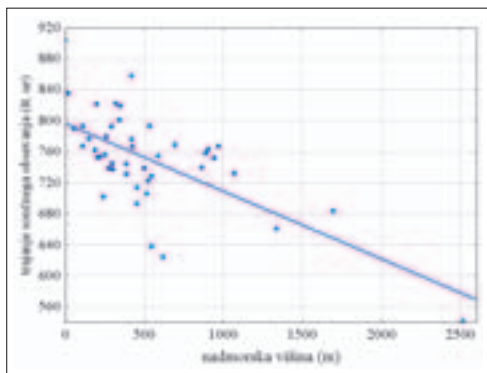
Na mejah med regijami smo morali zagotoviti zveznost prostorske porazdelitve trajanja sončnega obsevanja. To smo dosegli v dveh korakih. Pri prostorski interpolaciji trajanja sončnega obsevanja v določeni regiji smo upoštevali tudi obmejne podatke iz drugih regij. Pri lepljenju rezultatov posameznih regij v prostorsko porazdelitev za celo Slovenijo smo na mejah med regijami določili prehodno cono, kjer smo trajanje sončnega obsevanja določili kot linearno kombinacijo obeh regij z utežmi, ki so padale z razdaljo od meje med regijama. Vrednosti trajanja sončnega obsevanja smo v prvem koraku računali v mrežo z ločljivostjo 100 m z namenom, da bi zajeli veliko prostorsko spremenljivost geografskih spremenljivk. V zadnjem koraku smo vrednosti povprečili v mrežo z ločljivostjo 1 km, ki je največja možna ločljivost glede na gostoto merilnih točk, njihovo reprezentativnost in napako prostorske interpolacije.

### 4 Rezultati

Rezultati prostorske interpolacije trajanja sončnega obsevanja so predstavljeni po letnih časih. Za vsak letni čas je prikazana regionalizacija, po regijah so nato opisani interpolacijski modeli. Konvencija zapisa variogramov je povzeta po Cressieju (1993).

#### 4.1 Poletje

Kot je razločiti iz slike 3, je poleti odvisnost trajanja sončnega obsevanja od nadmorske višine enotna po vsej državi. Zaradi pogostejše konvekcije ob orografskih pregradah se trajanje sončnega obsevanja



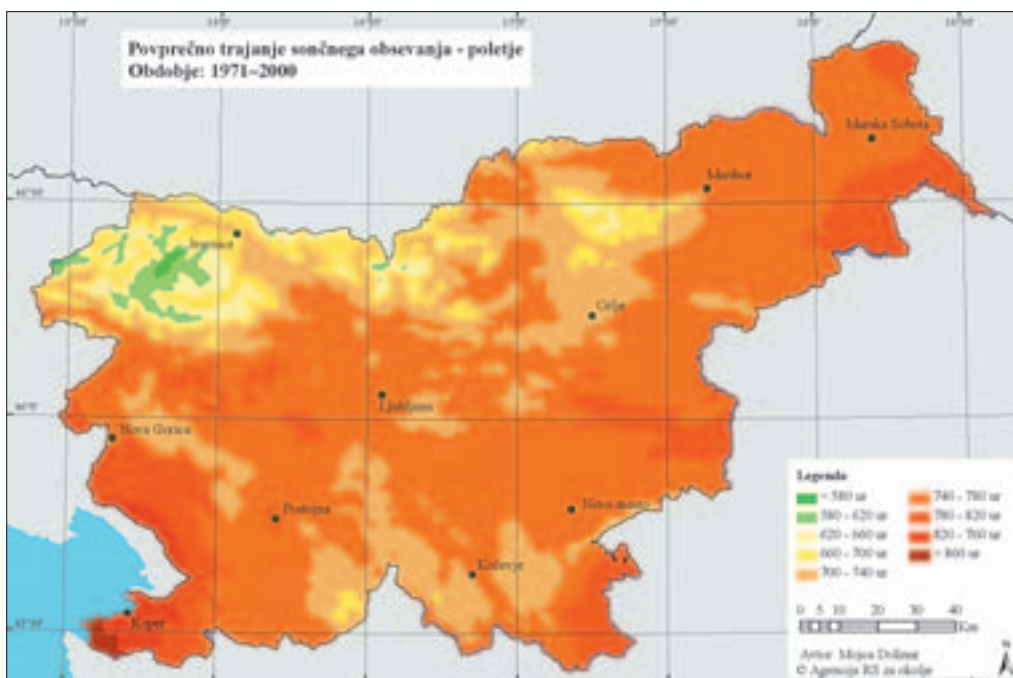
Slika 3: Trajanje sončnega obsevanja v odvisnosti od nadmorske višine za poletne mesece (junij, julij, avgust).



Slika 4: Poleti je odvisnost trajanja sončnega obsevanja od nadmorske višine enotna po celi državi, zato lahko tvorimo enotno regijo.

z nadmorsko višino zmanjšuje. Večjo spremenljivost trajanja sončnega obsevanja v nižinah lahko pojasnimo z odvisnostjo od geografske širine: južni deli države imajo poleti več sončnih ur kot severni (slika 5). Regresijska analiza pokaže, da z nadmorsko višino (NMV) in geografsko širino (GŠ) lahko razložimo 55 % variabilnosti v trajanju sončnega obsevanja (TSO):

$$TSO = 851 - 0,0701 * NMV - 0,000610 * G$$



Slika 5: Karta povprečnega trajanja sončnega obsevanja v poletnih mesecih (junij, julij, avgust) za referenčno obdobje 1971–2000.

Ostanke regresijskega modela nato interpoliramo v prostor z metodo kriginga. Najboljše rezultate pri metodi navzkrižnega preverjanja smo dobili s sferičnim modelom variograma:

$$\text{Var} = 264 \cdot \text{Nug}(0) + 1600 \cdot \text{Sph}(26600)$$

in radijem vplivne okolice 55 km. Močna odvisnost trajanja sončnega obsevanja od nadmorske višine se odraža na prostorski porazdelitvi trajanja sončnega obsevanja poleti (slika 5). Največ sončnih ur poleti dobimo na Obali, najmanj pa v gorah.

## 4.2 Jesen

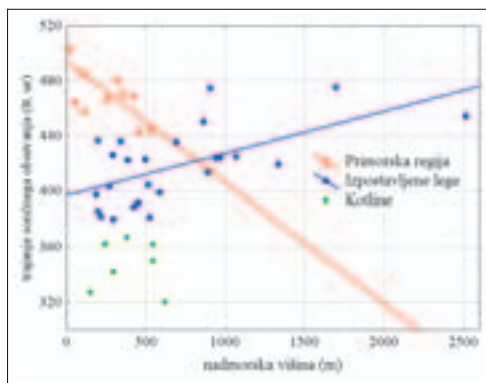
V dolinah in kotlinah se v jesenskih mesecih pogosto pojavlja megla, ki pa zaradi vpliva toplega morja ni značilna za Primorsko. Vpliv megle na trajanje sončnega obsevanja je dobro razviden, če analiziramo odvisnost trajanja od nadmorske višine (slika 6). Na podlagi te odvisnosti namreč lahko Slovenijo razdelimo na tri regije s specifičnimi značilnostmi trajanja sončnega obsevanja (slika 7): Primorska regija, za katero ni značilna megla in trajanje sončnega obsevanja z nadmorsko višino pada, izpostavljene lege v notranjosti države, kjer prav tako megla ni pogost pojav in trajanje sončnega obsevanja z nadmorsko višino narašča, ter kotline, kjer je megla in nizka oblačnost zelo pogost pojav in ni zaznati statistično značilne odvisnosti trajanja sončnega obsevanja od nadmorske višine.

Regionalizacijo smo naredili na podlagi DMR z ločljivostjo 25 m ter radiosondažnih podatkov. Vpliv toplega morja jeseni seže do Dinarskega roba in po dolini Soče, kar je bil kriterij za določitev primorske regije. Kotlini smo določili na podlagi variabilnosti v nadmorski višini v radiju 2 km okoli točke, relativne nadmorske višine v isti okolici in povprečne višine temperaturnih inverzij. V regresijski modelu za trajanje sončnega obsevanja (TSO) za Primorsko in izpostavljene lege je bila vključena samo nadmorska višina (NMV):

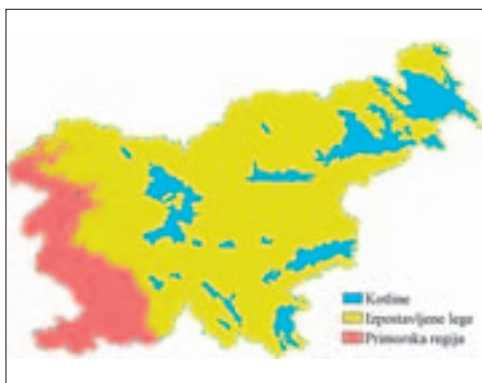
$$\text{PRIMORSKA REGIJA} \quad \text{TSO} = 398 - 0,029 \cdot \text{NMV}, R^2 = 36 \%$$

$$\text{IZPOSTAVLJENE LEGE} \quad \text{TSO} = 494 - 0,088 \cdot \text{NMV}, R^2 = 52 \%$$

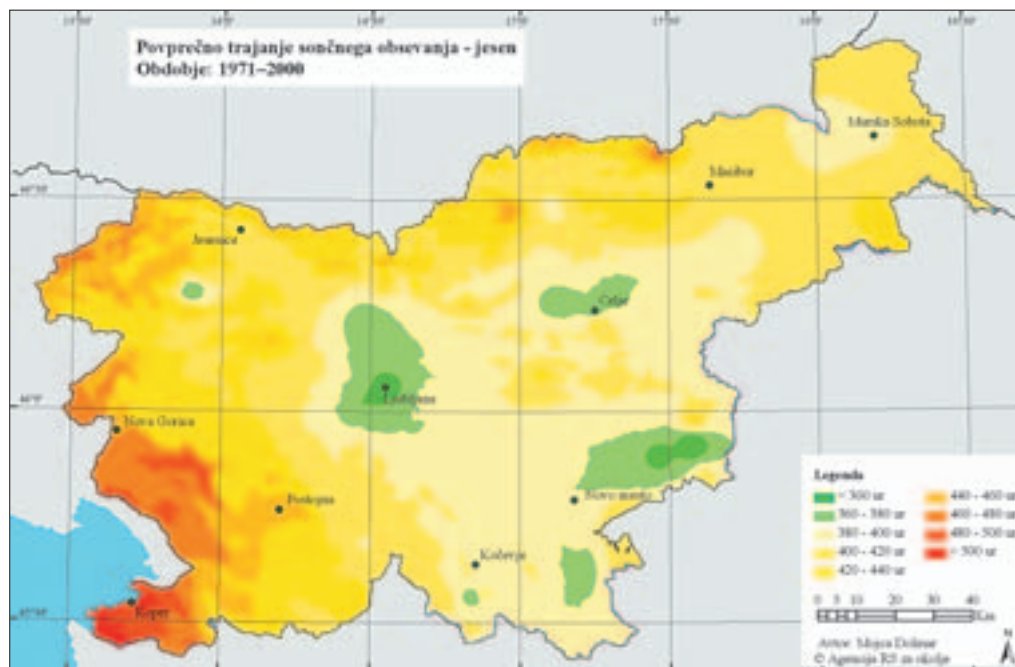
Za kotlinsko regijo nobena od geografskih spremenljivk ni statistično značilno pojasnjevala variabilnosti trajanja sončnega obsevanja. Zaradi majhnega števila točk v vsaki od regij za prostorsko



Slika 6: Trajanje sončnega obsevanja v odvisnosti od nadmorske višine za jesenske mesece (september, oktober, november).



Slika 7: Jeseni glede na odvisnost trajanja sončnega obsevanja od nadmorske višine Slovenijo lahko razdelimo na tri značilne regije.



Slika 8: Karta povprečnega trajanja sončnega obsevanja v jesenskih mesecih (september, oktober, november) za referenčno obdobje 1971–2000.

interpolacijo niso bile primerne stohastične metode, zato smo za prostorsko interpolacijo ostankov regresije pri primorski regiji in izpostavljenih legah ter za trajanje sončnega obsevanja pri kotlinah, uporabili metodo prostorske interpolacije z utežmi, ki so obratno sorazmerne z razdaljo med točkami.

Na prostorski porazdelitvi trajanja sončnega obsevanja je opaziti vpliv regionalizacije (slika 8). Vpliv kotlinske lege je nekoliko širši od regije kotlin, saj je prehod med kotlinsko in izpostavljeno lego zvezen zaradi variabilnosti v višini inverzij in nizke oblačnosti. Podobno kot poleti je jeseni največ sončnih ur na obali, najmanj pa po dolinah in kotlinah.

### 4.3 Zima

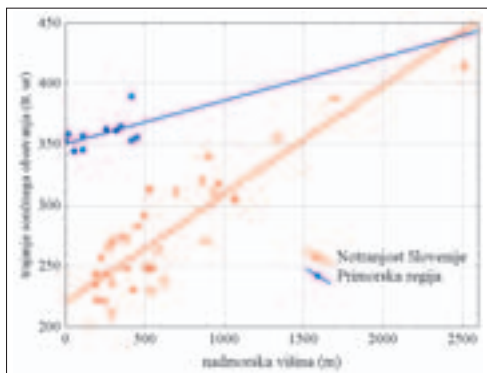
Če narišemo odvisnost trajanja sončnega obsevanja od nadmorske višine za zimske mesece (slika 9), sta že na prvi pogled opazni dve značilni skupini, ki sta tudi prostorsko enotni: primorska regija z majhnim porastom trajanja sončnega obsevanja z višino in notranjost Slovenije, kjer trajanje sončnega obsevanja z višino močno narašča, kar je posledica megle in nizke oblačnosti v nižjih legah.

Z regresijskim modelom, v katerem je edina statistično značilna pojasnjevalna spremenljivka nadmorska višina (NMV), v primorski regiji lahko pojasnimo kar 66 % variabilnosti v trajanju sončnega obsevanja (TSO):

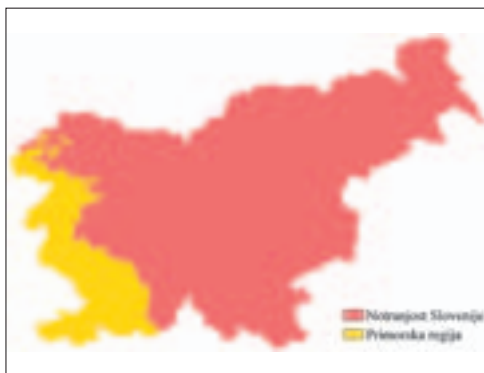
$$\text{PRIMORSKA REGIJA} \quad TSO = 394 + 0,036 \cdot \text{NMV}, R^2 = 66 \%$$

Ostanke regresijskega modela smo v prostor interpolirali z metodo kriginga, kjer smo z metodo navzkrižnega preverjanja izbrali linerani model variograma in radij vplivne okolice 40 km:

$$\text{Var} = 40 \cdot \text{Nug}(0) + 620 \cdot \text{Lin}(48600)$$



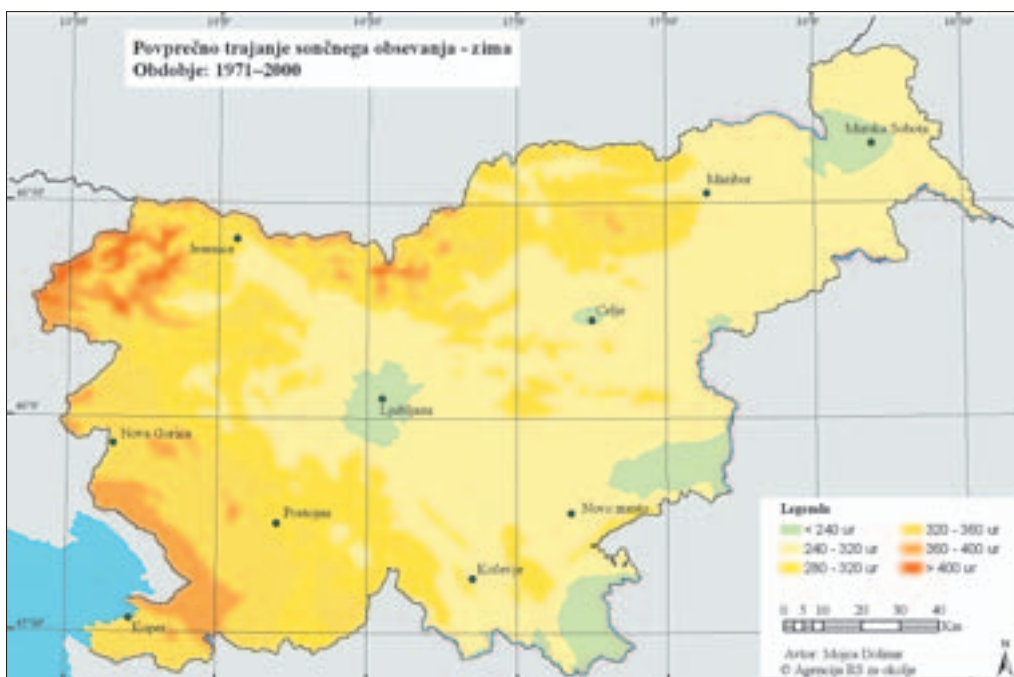
Slika 9: Trajanje sončnega obsevanja v odvisnosti od nadmorske višine za zimske mesece (december, januar, februar).



Slika 10: Pozimi glede na odvisnost trajanja sončnega obsevanja od nadmorske višine Slovenijo razdelimo na dve značilni regiji.

Tudi za notranjost Slovenije je interpolacijski model podoben kot za primorsko regijo. S statistično značilnim regresijskim modelom lahko pojasnimo 79% variabilnosti v trajanju sončnega obsevanja:

$$\text{NOTRANJOST SLOVENIJE} \quad \text{TSO} = 220 + 0,089 * \text{NMV}, R^2 = 79\%$$



Slika 11: Karta povprečnega trajanja sončnega obsevanja v zimskih mesecih (december, januar, februar) za referenčno obdobje 1971–2000.

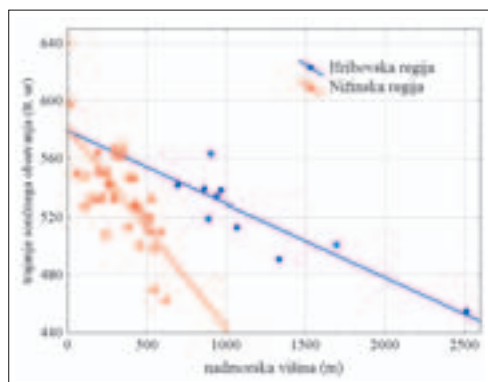
Ostanke regresijskega modela smo v prostor interpolirali z metodo kriginga, kjer smo z metodo navzkrižnega preverjanja izbrali eksponentni model variograma in radij vplivne okolice 30 km:

$$Var = 300 \cdot Nug(0) + 1100 \cdot Exp(11400)$$

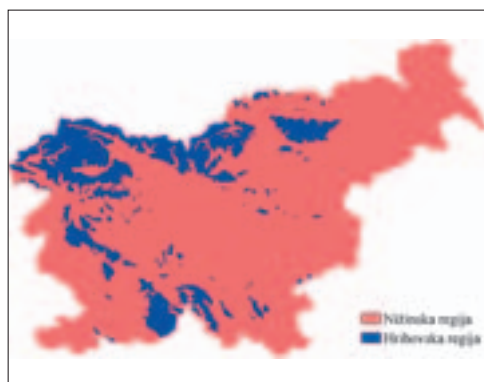
Pozimi največ sonca dobijo višje ležeči kraji, medtem ko je na obali in v nižinah zaradi pogoste megle in nizke oblačnosti sonca pozimi bistveno manj (slika 11). Najmanj sončnih ur je pozimi v kotlinah v notranjosti Slovenije, podobno kot v jesenskih mesecih.

#### 4.4 Pomlad

Iz slike 12 lahko razberemo, da v pomladnih mesecih trajanje sončnega obsevanja v nižjih predelih veliko hitreje pada z nadmorsko višino kot v hribovitih predelih. Tako pomladi dobimo dve značilni regiji (slika 13): nižinsko in hribovsko regijo. Kot posledica konvekcije se pojavi zelo strm gradient v trajanju sončnega obsevanja v pasu z nadmorsko višino od 700 do 800 m.



Slika 12: Trajanje sončnega obsevanja v odvisnosti od nadmorske višine za pomladne mesece (marec, april, maj).



Slika 13: Pomladi glede na odvisnost trajanja sončnega obsevanja od nadmorske višine Slovenijo razdelimo na dve značilni regiji.

V nižinski regiji je gradient trajanja sončnega obsevanja zelo strm. Z regresijskim modelom, v katerem je edina statistično značilna pojasnjevalna spremenljivka nadmorska višina (NMV), lahko pojasnimo 50 % variabilnosti v trajanju sončnega obsevanja (TSO):

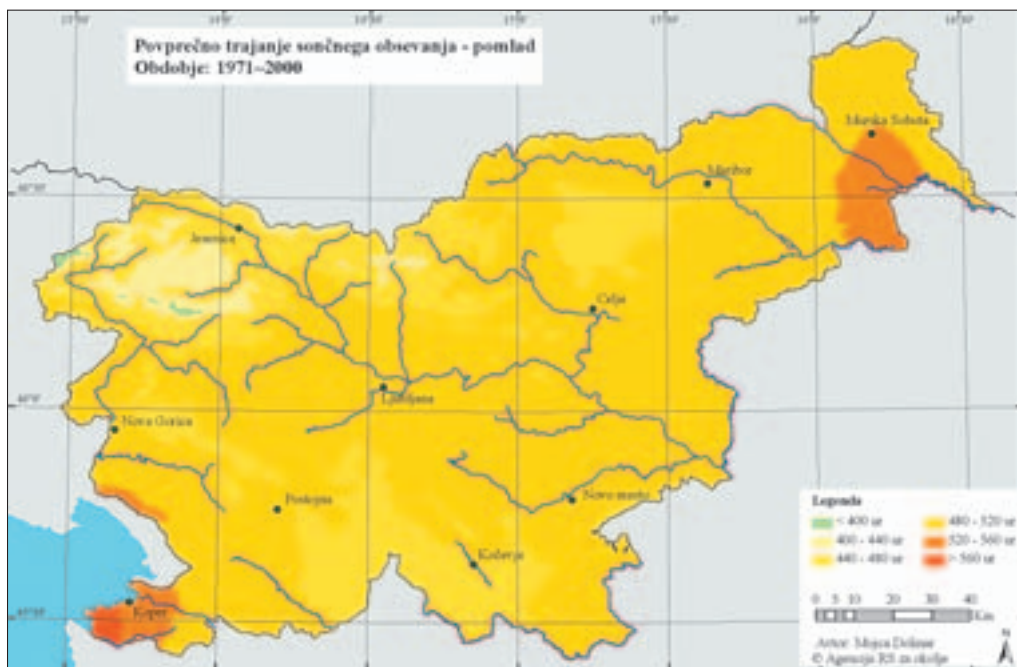
NIŽINSKA REGIJA  $TSO = 581 - 0,138 \cdot NMV, R^2 = 50 \%$

Ostanke regresijskega modela smo v prostor interpolirali z metodo kriginga, kjer smo z metodo navzkrižnega preverjanja izbrali sferični model variograma in radij vplivne okolice 35 km:

$$Var = 160 \cdot Nug(0) + 490 \cdot Sph(32400)$$

V hribovski regiji je regresijski model podoben, s tem, da z nadmorsko višino pojasnimo kar 78 % variabilnosti trajanja sončnega obsevanja.

HRIBOVSKA REGIJA  $TSO = 579 - 0,051 \cdot NMV, R^2 = 78 \%$



Slika 14: Karta povprečnega trajanja sončnega obsevanja v pomladnih mesecih (marec, april, maj) za referenčno obdobje 1971–2000.

Zaradi majhnega števila točk so ostanki regresijskega modela interpolirani v prostor z metodo prostorske interpolacije z utežmi, ki so obratno sorazmerne z razdaljo med točkami.

Prostorska porazdelitev trajanja sončnega obsevanja v pomladnih mesecih izgleda precej gladka (slika 14). Največ sončnih ur je na Obali in v nižinah severovzhodne Slovenije, najmanj pa v gorah.

## 5 Sklep

Pričujoča analiza je pokazala, da za prostorsko interpolacijo določene meteorološke spremenljivke ni neke splošne metode. Najboljše rezultate dobimo s kombinacijo različnih interpolacijskih metod, posebej, če v modele vključimo dodatne informacije, kot so bile v našem primeru geografske spremenljivke in radiosondažne meritve. Tudi regionalizacija se je izkazala za zelo učinkovit pristop pri računanju prostorskih polj, čeprav se je lepljenje posameznih regij v enotno polje neke spremenljivke izkazalo za zelo zahtevno nalogo. Za regionalizacijo so najbolj pomembne lastnosti obravnavane meteorološke spremenljivke, vendar pa brez dodatnih podatkov, kot so geografski, objektivna regionalizacija ni možna. Funkcionalnost GIS je pri takih nalogah v pomoč, posebej pri regionalizaciji in lepljenju rezultatov prostorske interpolacije posameznih regij.

Vse štiri sezonske karte prostorske porazdelitve trajanja sončnega obsevanja kažejo tipičen prostorski vzorec in jih lahko uporabljamo kot maske za računanje trajanja sončnega obsevanja v manjši časovni skali (dekadni do mesečni) ter nadalje za ocene energije sončnega obsevanja. Primerjava kart med sabo kaže na značilno razliko v trajanju sončnega obsevanja med letnimi časi, ko se gradienti lahko celo obrnejo.

## 6 Viri in literatura

- Cressie, N. A. C. 1993: *Statistics for Spatial Data*. John Wiley & Sons, USA.
- Daley R. 1991: *Atmospheric Data Analysis*. Cambridge University Press, Canada.
- Dobesch, H., Tveito, O. E. & Bessemoulin, P. 2001: Final Report Project no. 5 in the framework of the climatological projects in the application area of ECSN 'Geographic Information Systems in Climatological Application'. Oslo-Vienna.
- HMZ 1991: Sunshine duration in the period 1961–1990. *Climatology of Slovenia: Hydrometeorological Institute of Slovenia*, Ljubljana, Slovenia.
- Hočevar, A., Kajfež-Bogataj, L., Petkovšek, Z., Pristov, J., Rakovec, J., Roškar, J. in Zupančič, B. 1982: *Sončno sevanje v Sloveniji*. Biotechnical Faculty, Ljubljana, Slovenija.
- Hrvatina, M. in Perko, D. 2002: Ugotavljanje ukrivljenosti površin z digitalnim modelom višin in njena uporabnost v geomorfologiji. *GIS v Slovenija 2001–2002*. ZRC-SAZU, Ljubljana.
- Isaaks, E. H. in Srivastava R. M. 1989: *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, USA.
- Medmrežje 1: Global 30 Arc-Second Elevation Data Set (GTOPO30), <http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/gtopo30.asp>, (9. 9. 2004).
- Medved, S., Stritih, U., Arkar, C. in Maksić, R. 2001: An assessment of Potential of renewable energy resources in Slovenia. *EGES 5*. Ljubljana, Slovenija.
- Ovsenik-Jeglič, T. 2004: *Trajanje sončnega obsevanja. Klimatografija Slovenije: Agencija RS za okolje*, Ljubljana, Slovenija.
- Petkovšek, Z. 1969: Pogostnost megle v nižinah in kotlinah Slovenije. *Razprave – Papers*. Ljubljana, Slovenija.
- Petkovšek, Z. 1980: Additional relief meteorologically relevant characteristics of basins. *Zeitschrift für Meteorologie* 30, Berlin, Nemčija.
- Tveito, O. E. in Schöner, W. (urednika) 2002: Applications of spatial interpolation of climatological and meteorological elements by the use of Geographical Information Systems (GIS), *KLIMA*, No. 28/02, Oslo.
- Ustrnul, Z. in Czekierda D. 2005: Application of GIS for the development of climatological air temperature maps: an example from Poland. *Meteorol. Appl.* 12: 43–50. UK.





## POTENCIALNO PLAZOVITA OBMOČJA V SLOVENIJI IN IZPOSTAVLJENOST ČLOVEKOVEGA OKOLJA

*dr. Marko Komac*

*Geološki zavod Slovenije*

*Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana*

*marko.komac@geo-zs.si*

UDK: 551.435.62:659.2:004(497.4)

### IZVLEČEK

#### **Potencialno plazovita območja v Sloveniji in izpostavljenost človekovega okolja**

Za območje Slovenije smo na podlagi nacionalne baze zemeljskih plazov v merilu 1 : 250.000 določili potencialno plazovita območja. Uporabili smo podatke za 3257 plazov, od katerih smo jih 2176 upoštevali pri izdelavi analiz pojavljanja plazov v odvisnosti od prostorsko-časovnih pripravljanih (vzročnih) in sprožilnih dejavnikov ter za izdelavo modelov napovedi, 1081 pa za oceno kakovosti dobljenih modelov. Analize smo opravili v GIS-ih s celičnimi podatki velikosti 25 krat 25 metrov. Izdelali smo več obteženih linearnih modelov napovedi potencialno plazovitih območij, najprimernejšega pa smo uporabili za oceno izpostavljenosti človekovega okolja.

### KLJUČNE BESEDE

plazovi, plazovita območja, model, izpostavljenost, človek, prostorske analize, GIS, Slovenija

### ABSTRACT

#### **Landslide susceptibility areas in Slovenia and exposure of anthroposphere**

A landslide susceptibility map of Slovenia at scale 1 : 250.000 was completed, using an extensive national landslide database. Altogether 3257 landslides were used, 2176 for the statistical analyses of landslide occurrence in relation to the spatio-temporal precondition factors and in relation to the triggering factors, and 1081 for the validation of the results. The analyses were conducted on a raster format data with the 25 × 25 m pixel size using GIS. Several weighted linear susceptibility models with various factor weights variations based on previous research were developed, and the best was used for the anthroposphere exposure assessment.

### KEYWORDS

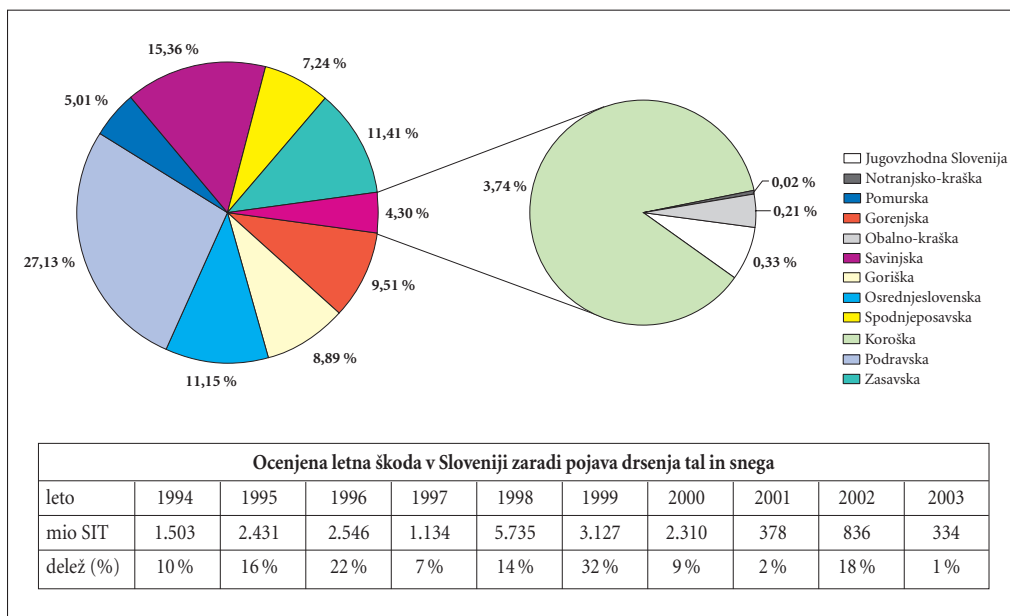
landslides, susceptibility, model, exposure, anthroposphere, spatial analyses, GIS, Slovenia

## 1 Uvod

Plazovi in ostali pojavi pobočnega masnega premikanja kot naravna nevarnost vse bolj ogrožajo človeka, saj ta zaradi potrebe po vedno večjih uporabnih površinah posega v prostor tudi na območjih, ki so do nedavnega sodila med manj primerna za gradnjo. Posledice nepremišljenih posegov v prostor so tudi zmanjšanje stabilnosti brežin, zaradi katerih se ob kritičnih razmerah, kot so močne padavine ali potresi, sprožijo plazovi, skalni podori in masni tokovi, kar močno zmanjša kakovost življenjskega okolja. Škode zaradi naravnih pojavov (poplave, potresi, plazovi idr.) predstavljajo velik finančni udarec za občine, regije in države. Prave posledice omenjenih pojavov, tudi pobočnih masnih premikanj, so pogosto prisotne dlje časa po dogodku, saj se ogroženi soočajo z ekonomsko-eksistencialnimi problemi, občinski in državni proračuni pa so ob večjih katastrofah trajno obremenjeni. Primera, ki to potrjuje, sta sanaciji posledic plazov Stovže (medmrežje 3) in Slano blato (medmrežje 4).

Letno plazovi po vsem svetu usmrtiljo okoli 1000 ljudi in povzročijo okoli 4 milijarde ameriških dolarjev škode (Singhroy et al. 2000). Po nekaterih podatkih naj bi 25 največjih plazov v 20. stoletju terjalo okoli 180.000 življenj in ogromno materialno škodo (Galloway 2001). Slovenija je zaradi svoje kompleksne geološke sestave, ki je zelo ugodna za pojavljanje pobočnih masnih premikov, zelo izpostavljena njihovu pojavljanju in posledično tudi njihovu vplivu na človekovo okolje. V Sloveniji naj bi bilo sredi devetdesetih let po oceni (Ribičič et al. 1994) med 7000 in 10.000 večjih nestabilnih pojavov. Na dan 30. 6. 2005 je bilo v združeni bazi plazov na območju Slovenije zabeleženo 6602 plazov. Za 3257 plazov je lokacija zabeležena, za ostalih 3345 pa so zajeti le opisni podatki brez lokacije. Ocena škode zaradi plazov v Sloveniji po letih, povzeta po podatkih Statističnega zavoda Slovenije (2005), je prikazana na sliki 1.

Človek naravnih pojavov ne more preprečiti, lahko pa jih s premišljenimi potezami minimizira ali se jim do določene mere celo izogne. Eden od osnovnih pristopov k reševanju predstavljene problematike je določitev potencialno nevarnih območij naravnih pojavov in upoštevanje teh območij v prostorskih planih. Zaenkrat območja geološko odvisnih nevarnosti, med katere sodijo tudi poboč-



Slika 1: Ocena škode zaradi plazov v Sloveniji za obdobje 1994–2003 po posameznih letih (medmrežje 5).

ni masni premiki, niso obvezni sestavni del prostorskih planov. Zakonski akti se dotikajo pereče problematike le z vidika odpravljanja posledic. Z vidika preventive veljavna zakonodaja le omejuje rabo prostora zaradi možnih pojavov plazljivih območij, ne opredeljuje pa metod za določanje plazljivih območij. Novi zakon o vodah, ki je v pripravi, naj bi to spremenil. V prispevku predstavljene analize in rezultate so prek ciljnega raziskovalnega projekta »Novelacija in nadgradnja informacijskega sistema o zemeljskih plazovih in vključitev v bazo GIS\_UJME« omogočila Ministrstvo za obrambo R Slovenije, Ministrstvo za okolje in prostor in Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo (Komac et al. 2005b).

## 2 Vzroki pojavljanja plazov

Prispevek predstavlja izpostavljenost človekovega okolja pojavljanju plazov, zato je smiselno na kratko predstaviti vzroke njihovega nastajanja oziroma pojavljanja skozi dejavnike, ki jih povzročajo. Pojavljanje plazov, tako prostorsko kot tudi časovno, je povezano s številnimi dejavniki, razdeljenimi v dve skupini.

*Povzročitelji plazenj* so dejavniki, ki skozi daljše časovno obdobje določajo razmere za nastanek plazov. Mednje sodijo lastnosti kamnin, naklon, ukrivljenost in orientacija terena, nadmorska višina lokacije, oddaljenost od geoloških mej, strukturnih elementov in površinskih tokov, dolžina toka površinske vode ter tip rabe tal. *Sprožitelji plazenj* so trenutni dogodki, ki tako intenzivno vplivajo na razmere nekega območja, da za stalno spremenijo njegovo stanje in povzročijo splazitev mase (Komac 2005a in 2005b). Sprožitelji, ki so lahko posledica človeškega delovanja ali naravnih pojavov, se delijo na *pripravljalne* (sečnja gozda, vkopi, obremenitve brežin in razbremenitve vzožij) in *sprožilne* dejavnike (intenzivne padavine, erozija in tresenje tal oziroma seizmična aktivnost območja).

## 3 Podatki

### 3.1 Podatki o plazovih

Podatki o plazovi, vključeni v analize za izdelavo modela napovedi in določitve potencialno plazovitih območij v Sloveniji, so bili pridobljeni iz številnih virov (Komac et al. 2005a). Celotna populacija plazov z znano lokacijo (3257 plazov) je bila razdeljena na učni niz z 2176 plazovi in na kontrolni niz s 1081 plazovi. Kot *učni niz* plazov je bilo za vsako od 29 inženirsko-geoloških enot, dobljenih na osnovi Geološke karte Slovenije 1 : 250.000 (Buser, v tisku), na območju katerih se pojavlja zadostno število plazov, naključno izbranih okoli 60 % plazov oziroma vsaj 40 plazov. Ostali plazovi so pripadli *kontrolnemu nizu*. Pri enotah, na katerih se pojavlja premalo plazov, so plazovi služili kot *kazalec* vpliva prostorskih dejavnikov za nastanek plazenje. Kazalci so pomagali pri strokovni oceni pojavljanja plazov (Komac et al. 2005b).

### 3.2 Podatki o prostorsko-časovnih dejavnikih

Pojavlanje plazov je posledica delovanja številnih prostorsko-časovnih dejavnikov, povzročiteljev in sprožiteljev. Za določitev potencialno plazovitih območij v Sloveniji v merilu 1 : 250.000 so bili uporabljeni podatki o naslednjih prostorsko-časovnih dejavnikih: litološke oziroma inženirsko geološke značilnosti kamnin, naklon, ukrivljenost in usmerjenost pobočij, oddaljenosti od geoloških mej, od prelomnih struktur in od površinskih vodnih tokov, dolžina površinskega toka vode, tip rabe tal, povprečne letne padavine za 30-letno obdobje, količina maksimalnih 24-urnih padavin s povratno dobo 100 let ter projektni pospešek tal s povratno dobo 475 let.

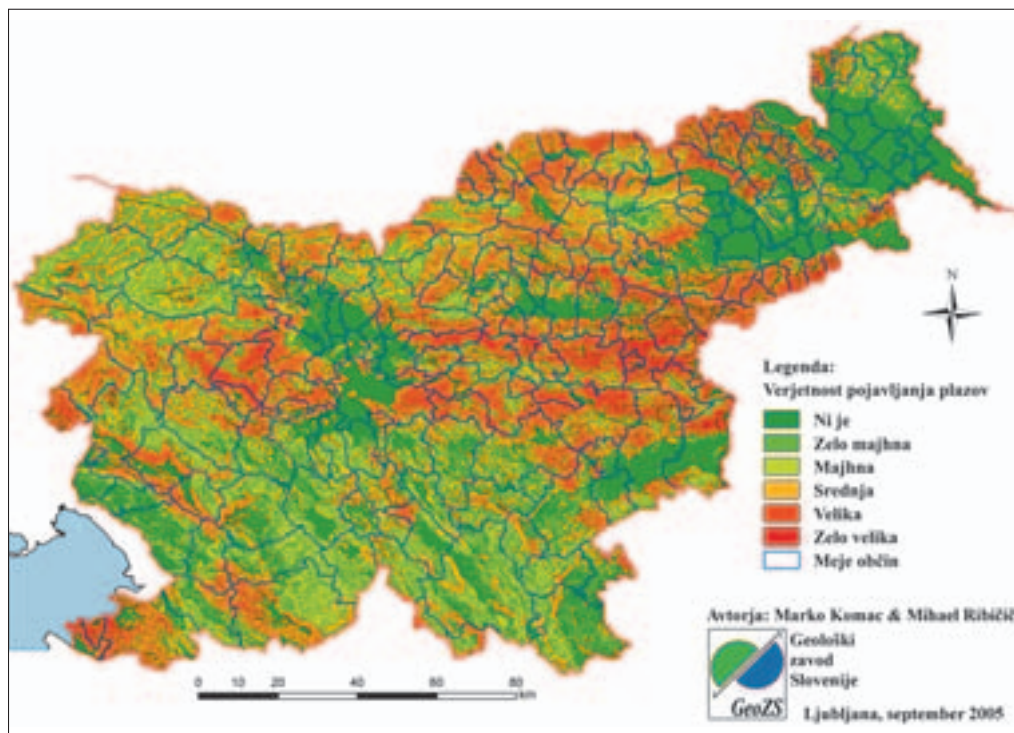
### 3.3 Podatki o človekovem okolju

Podatki o o gostoti prebivalstva, stavbah, cestni in železniški mreži so bili pridobljeni iz baze Naravovarstveni atlas R Slovenije (MOP – ARSO 2005), primarni viri podatkov pa so navedeni v nadaljevanju. Podatki o rabi tal so bili povzeti po bazi Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP 2002). Pri uporabi navedenih podatkov je bila upoštevana tajnost osebnih podatkov, podatki pa so bili uporabljeni izključno za navedeni projekt.

## 4 Model napovedi potencialno plazovitih območij v Sloveniji

V okviru projekta, je bila opravljena analiza pojavljanja (znanih) plazov na območju Slovenije in analiza vpliva prostorskih dejavnikov na njihovo pojavljanje (Komac et al. 2005b). Kot končni rezultat analiz je bil izdelan zemljevid verjetnosti pojavljanja plazov za celotno območje Slovenije v merilu 1 : 250.000 (Komac in Ribičič, v tisku). Uporabljeni so bili podatki o plazovih na območju Slovenije iz več virov na dan 30. 6. 2005. V analize je bilo vključenih 3257 plazov z znano lokacijo.

Analize so bile opravljene v GIS-u, rezultati so bili statistično obdelani z metodami univariatne statistike, medsebojni odnos med prostorsko-časovnimi spremenljivkami pa je bil povzet po Komac (2005). Za izdelavo zemljevida verjetnosti pojavljanja plazov na območju Slovenije v merilu 1 : 250.000 (slika 2) je bil uporabljen linearni model vsote uteži vplivnih prostorskih spremenljivk (prirejeno po Voogd 1983).



Slika 2: Zemljevid verjetnosti pojavljanja plazov v Sloveniji v merilu 1 : 250.000 (Komac in Ribičič, v tisku).

V preglednici 1 je prikazana porazdelitev površin razredov verjetnosti pojavljanja plazov in delež plazov po razredih verjetnosti za območje Slovenije. V petem stolpcu je podano razmerje med deležem plazov in deležem površine. Šele ko to razmerje preseže vrednost 1, je verjetnost pojavljanja plazov za dano območje realna (večja od naključne). To potrdi tudi testiranje naključnosti prostorskega pojavljanja plazov glede na razrede verjetnosti z metodo  $\chi^2$  (šesti stolpec). Vrednosti testa ne morejo biti negativne, predznak le podaja vpliv lastnosti razreda na pojavljanje plazov, kjer negativen predznak pomeni zaviralni vpliv in pozitiven predznak spodbujevalni vpliv. Zaradi statistično utemeljenih analiz in merila vhodnih podatkov je treba upoštevati dejstvo, da pojavljanje plazov na območjih z razmerjem P/A, manjšim od 1 ali z negativnim predznakom v primeru testa  $\chi^2$ , ni izključeno.

*Preglednica 1: Porazdelitev površin razredov verjetnosti pojavljanja plazov in delež plazov po razredih verjetnosti pojavljanja v Sloveniji.*

razred	verjetnost pojavljanja plazov	A	delež plazov (P)	razmerje (P/A)	$\chi^2$
1	je ni	28,00 %	5,1 %	0,18	(-)610
2	zelo majhna	17,03 %	5,5 %	0,32	(-)254,3
3	majhna	20,99 %	8,5 %	0,40	(-)242,1
4	srednja	10,00 %	11,4 %	1,14	(+)6,384
5	velika	17,00 %	26,2 %	1,54	(+)161,7
6	zelo velika	6,97 %	43,3 %	6,21	(+)6167,6

## 5 Rezultati analize izpostavljenosti človekovega okolja pojavom plazenj

S podatki o potencialno plazovitih območjih (vplivnega dejavnika) in podatki o prostorskem pojavljanju vplivanih (opazovanih) komponent je možno oceniti izpostavljenost posameznih tvornikov človekovega okolja.

### 5.1 Izpostavljenost prebivalstva

Število prebivalcev je povzeto po katastru stavb (MOP GURS 2005a), vsota prebivalcev pa je podana na nivoju osnovne celice 25 krat 25 m. Delež prebivalstva lahko odstopa zaradi celično osnovanih prostorskih analiz, vendar pa je odstopanje vrednosti na nivoju celotne Slovenije manjše od 0,1 %. Porazdelitev prebivalstva Slovenije glede na razrede verjetnosti pojavljanja plazov je prikazana v preglednici 2. Da živi večina prebivalstva ( $\approx 66\%$ ) na območjih brez verjetnosti pojavljanja plazov, je pričakovano, presenetljiv pa je delež prebivalstva na plazovom najbolj izpostavljenih območjih (7,8 %). Ta je večji

*Preglednica 2: Porazdelitev števila in deležev prebivalcev glede na razrede verjetnosti pojavljanja plazov v Sloveniji.*

verjetnost pojavljanja plazov	je ni	zelo majhna	majhna	srednja	velika	zelo velika
število prebivalcev	1300896	65521	125904	108836	217677	153875
delež prebivalstva	65,94 %	3,32 %	6,38 %	5,52 %	11,03 %	7,80 %
površina razreda (km <sup>2</sup> )	5674,99	3451,61	4254,22	2026,78	3445,53	1412,67
delež površine razreda	28,00 %	17,03 %	20,99 %	10,00 %	17,00 %	6,97 %

celo od površine razreda, ki je slabih 7 %, razlika pa kljub temu ni statistično značilna. Delež prebivalcev je v ostalih razredih precej nižji od deleža površine teh razredov. Zato lahko sklepamo, da je visok delež prebivalstva na najbolj izpostavljenih območjih lahko posledica neupoštevanja naravnih razmer oziroma naravnih procesov pri izbiri lokacij bivališč, lahko pa tudi posledica številnih »navideznih« stanovanjcev, prijavljenih na lokacijah stavb s primarnim namenom oddiha. Najverjetneje lahko govorimo o kombinaciji obeh omenjenih vzrokov.

## 5.2 Izpostavljenost objektov

Analiza pojavljanja stavb glede na verjetnost pojavljanja plazov je temeljila na podatkih o centrioidih stavb in o številu etaž, saj je bil cilj ocena števila potencialno izpostavljenih stavb. V katastru stavb (MOP GURS, 2005a), po katerem so povzeti analizirani podatki, se najverjetneje pojavlja manjši delež napak, saj se nekatere zelo visoke stavbe pojavljajo na nelogičnih mestih (npr. 47-etažna stavba v občini Dobrna), a to bistveno ne vpliva na rezultate analiz. V preglednici 3 je podana porazdelitev vseh stavb po etažah glede na verjetnost pojavljanja plazov. Delež stavb lahko odstopa zaradi celično osnovanih prostorskih analiz, vendar pa je odstopanje števila stavb na nivoju celotne Slovenije manjše od 0,37 %.

*Preglednica 3: Porazdelitev deleža stavb po številu etaž glede na površino razredov verjetnosti pojavljanja plazov v Sloveniji. (\*verjetno gre za napako pri podatku o številu etaž).*

število etaž	verjetnost pojavljanja plazov						
	je ni	zelo majhna	majhna	srednja	velika	zelo velika	delež stavb
NP	66,41 %	3,79 %	6,23 %	4,67 %	12,67 %	6,23 %	0,157 %
1	54,26 %	3,86 %	8,23 %	7,11 %	15,15 %	11,39 %	47,163 %
2	51,88 %	3,80 %	8,66 %	7,36 %	16,00 %	12,30 %	43,672 %
3	49,14 %	4,02 %	8,39 %	7,30 %	16,79 %	14,36 %	7,608 %
4	68,64 %	4,41 %	6,30 %	4,85 %	8,91 %	6,89 %	0,639 %
5	79,53 %	3,22 %	4,73 %	3,62 %	5,38 %	3,52 %	0,351 %
6	78,06 %	3,60 %	4,19 %	3,56 %	7,21 %	3,38 %	0,181 %
7	80,18 %	2,75 %	3,56 %	3,96 %	5,99 %	3,56 %	0,101 %
8	76,57 %	3,35 %	4,39 %	3,97 %	7,11 %	4,60 %	0,039 %
9	80,92 %	2,96 %	6,58 %	2,96 %	4,61 %	1,97 %	0,025 %
10	84,51 %	0,88 %	4,42 %	2,21 %	6,19 %	1,77 %	0,018 %
11	90,81 %	3,24 %	1,08 %	0,54 %	3,24 %	1,08 %	0,015 %
12	93,57 %	0,00 %	2,14 %	0,71 %	1,43 %	2,14 %	0,011 %
13	83,56 %	2,74 %	5,48 %	4,11 %	4,11 %	0,00 %	0,006 %
14	90,57 %	3,77 %	1,89 %	1,89 %	1,89 %	0,00 %	0,004 %
15	85,48 %	3,23 %	6,45 %	3,23 %	0,00 %	1,61 %	0,005 %
nad 15	91,49 %	2,13 %	0,00 %	2,13 %	0,00 %	4,26 %*	0,004 %

Preglednica 4 podaja porazdelitev stavb v Sloveniji glede na razrede verjetnosti pojavljanja plazov. Velika deleža stavb v zgornjih dveh razredih verjetnosti pojavljanja plazov sta najverjetneje vezana na lokacije stavb s primarnim namenom oddiha, saj v kar 95 % stavb na območjih z veliko in 75 % stavb na območjih z zelo veliko verjetnostjo pojavljanja plazov ni prijavljenega stanovanca. Skupni delež stavb na območjih z zelo veliko verjetnostjo pojavljanja plazov je skoraj dvakrat večji od naključno pričakovanega, kar očitno kaže na dejstvo, da prebivalci zanemarjajo pomen preteklih dogodkov oziroma naravnih pojavov npr. pobočnih masnih premikov.

*Preglednica 4: Porazdelitev števila in deleža stavb glede na razrede verjetnosti pojavljanja plazov v Sloveniji.*

verjetnost pojavljanja plazov	je ni	zelo majhna	majhna	srednja	velika	zelo velika
število stavb	651991	47185	102891	88206	190587	146177
delež stavb	53,14 %	3,85 %	8,39 %	7,19 %	15,53 %	11,91 %
površina razreda (km <sup>2</sup> )	5674,99	3451,61	4254,22	2026,78	3445,53	1412,67
delež površine razreda	28,00 %	17,03 %	20,99 %	10,00 %	17,00 %	6,97 %

### 5.3 Izpostavljenost tipov rabe tal

Porazdelitev območij posameznih tipov rabe tal glede na verjetnost pojavljanja plazov v Sloveniji je prikazana v preglednici 5. Klasifikacija rabe tal je povzeta po bazi MKGP (2002). S stališča izpostavljenosti kmetijskih zemljišč so pričakovano največji delež zasedla zemljišča, ki ležijo na območjih z majhnimi nakloni oziroma tam, kjer ni verjetnosti pojavljanja plazov. Skoraj dvakrat večji delež kmetijskih zemljišč od pričakovanega se pojavlja na območjih z zelo veliko verjetnostjo pojavljanja plazov. Razčlemba po tipih rabe zemljišč pokaže, da so vzrok povečanja travniki, katerih delež je na najbolj izpostavljenih območjih skoraj 70 %. S travo porasle površine delujejo kot slab preventivni dejavnik pri pojavljanju plazov. Gozdnatih površin je v najmanj izpostavljenih območjih manj kot v drugih, kar je posledica uporabe manj izpostavljenih območij za druge namene (kmetijstvo, poseljenost ...). Nizek delež z gozdom poraščenega sveta, ki leži v območjih z zelo veliko verjetnostjo pojavljanja plazov, gre najverjetneje pripisati varovalni vlogi gozda. Porazdelitev pozidanih in sorodnih površin je zelo podobna porazdelitvi stavb, zato lahko sklepamo na sorodne vzroke. Z vodami pokrite površine (vode in odprta zamočvirjena zemljišča) so porazdeljene skladno s pričakovanji, saj se jih manjši delež pojavlja v območjih s kakršnokoli verjetnostjo pojavljanja plazov. Razlog so verjetno napake v digitalnem modelu višin (in njegovih izpeljankah) ter merilo podatkov modela višin. Odprta zemljišča brez ali z nepomembnim rastlinskim pokrovom so predvsem višje ležeča območja, najverjetneje v gorskem svetu, kjer je verjetnost pojavljanja plazov večja že zaradi samih geomorfoloških razmer v pokrajini.

*Preglednica 5: Porazdelitev deležev rabe tal glede na površino razredov verjetnosti pojavljanja plazov v Sloveniji.*

verjetnost pojavljanja plazov	je ni	zelo majhna	majhna	srednja	velika	zelo velika	delež tipa rabe tal
kmetijska zemljišča	48,44 %	5,56 %	9,70 %	6,83 %	15,81 %	13,66 %	33,18 %
gozd in ostale poraščene površine	13,98 %	23,84 %	28,36 %	12,24 %	18,38 %	3,20 %	59,28 %
pozidana in sorodna zemljišča	55,16 %	4,73 %	9,08 %	6,81 %	14,25 %	9,97 %	5,34 %
odprta zamočvirjena zemljišča	94,52 %	1,86 %	1,59 %	0,64 %	1,14 %	0,24 %	0,135 %
odprta zemljišča brez ali z nepomembnim rastlinskim pokrovom	2,31 %	53,72 %	30,23 %	7,53 %	5,70 %	0,51 %	1,422 %
vode	80,72 %	5,57 %	6,46 %	2,29 %	3,87 %	1,10 %	0,653 %



#### 5.4 Izpostavljenost cestnega omrežja

Porazdelitev tipov cest glede na verjetnost pojavljanja plazov po občinah je prikazana v preglednici 6. Klasifikacija tipa cest je bila povzeta po združenih bazah digitalne mreže državnih cest DRSC (2000) in podatkovnega niza TOPO 25 – ceste MOP GURS (2005b). Delež cest lahko odstopa zaradi celično osnovanih prostorskih analiz, vendar pa je odstopanje vrednosti na nivoju celotne Slovenije manjše od 0,1 %. Porazdelitve avtocest, hitrih cest, glavnih cest, mestnih ali krajevnih cest in zbirnih mestnih ali zbirnih krajevnih cest kažejo na dobro oceno lociranja pomembnih transportnih poti, ko je govora o pojavljanju plazov. Kolesarske poti so večinoma seveda speljane po ravnem svetu. Regionalne ceste so, z izjemo najbolj izpostavljenih območij, bolj ali manj enakomerno porazdeljene po razredih izpostavljenosti. Precejšnja deleža javnih poti in lokalnih cest sta v zgornjih dveh razredih verjetnosti pojavljanja plazov, kar je verjetno posledica dejstva, da se so na teh območjih poti za prevoz lesa in manj pomembne, največkrat makadamske poti. Precejšen delež cest je nerazvrščen (61 %), kar onemogoča natančnejše in kakovostnejše analize pojavljanja cest v odnosu do verjetnosti pojavljanja plazov.

*Preglednica 6: Porazdelitev deleža celic posameznih tipov cest glede na površino razredov verjetnosti pojavljanja plazov v Sloveniji.*

verjetnost pojavljanja plazov	je ni	zelo majhna	majhna	srednja	velika	zelo velika	delež tipa ceste
avtocesta	68,26 %	7,24 %	8,21 %	4,81 %	8,53 %	2,95 %	0,55 %
regionalna cesta	19,87 %	18,79 %	27,97 %	11,31 %	17,10 %	4,96 %	11,8 %
hitra cesta	73,12 %	5,35 %	7,21 %	5,47 %	7,25 %	1,60 %	0,09 %
javna pot	41,74 %	5,77 %	11,31 %	8,64 %	19,27 %	13,3 %	11,9 %
kolesarska pot	65,26 %	3,93 %	6,04 %	6,34 %	12,08 %	6,34 %	0,01 %
lokalna cesta	36,22 %	7,19 %	14,20 %	9,58 %	20,15 %	12,7 %	9,01 %
glavna mestna cesta	89,68 %	3,04 %	3,22 %	1,78 %	1,84 %	0,43 %	0,09 %
mestna cesta ali krajevna cesta	78,90 %	3,32 %	4,68 %	3,83 %	6,27 %	3,01 %	1,05 %
zbirna mestna cesta ali zbirna krajevna cesta	79,18 %	3,80 %	5,16 %	3,71 %	5,52 %	2,64 %	0,42 %
regionalna cesta	43,35 %	8,92 %	16,01 %	7,83 %	15,39 %	8,49 %	3,96 %
nekategorizirana cesta	30,45 %	12,58 %	17,93 %	10,32 %	18,82 %	9,90 %	61,1 %

Preglednica 7 podaja skupno porazdelitev cest v Sloveniji glede na razrede verjetnost pojavljanja plazov. Splošno gledano je porazdelitev cest skladna s porazdelitvijo deležev površin razredov. Pri porazdelitvi cest ni mogoče govoriti o neupoštevanju izpostavljenosti plazovom, saj mora del mreže prometnih poti potekati tudi po bolj izpostavljenih območjih.

*Preglednica 7: Porazdelitev deleža vseh cest glede na površino razredov verjetnosti pojavljanja plazov v Sloveniji.*

verjetnost pojavljanja plazov	je ni	zelo majhna	majhna	srednja	velika	zelo velika
število celic s cestami	1719099	616597	930215	523660	969517	514440
delež celic s cestami	32,60 %	11,69 %	17,64 %	9,93 %	18,38 %	9,76 %
površina razreda (km <sup>2</sup> )	5674,99	3451,61	4254,22	2026,78	3445,53	1412,67
delež površine razreda	28,00 %	17,03 %	20,99 %	10,00 %	17,00 %	6,97 %

## 5.5 Izpostavljenost železniškega omrežja

Porazdelitev železniških prog v Sloveniji glede na verjetnost pojavljanja plazov je prikazana v preglednici 8, porazdelitev železniških postaj pa v preglednici 9. Podatki so bili povzeti po bazi TOPO 25 – železnice (MOP GURS 2005c). Delež prog lahko odstopa zaradi celično osnovanih prostorskih analiz, vendar pa je odstopanje vrednosti na nivoju celotne Slovenije manjše od 0,1 %. Večinoma tečejo železnice po ravninskih in položnejših območjih, hribovita in gorata območja pa prečkajo skozi trdnejše kamnine, v poteh skozi manj trdne kamnine pa so zaščitene s predori in vkopi. Porazdelitev železnic (in podobno železniških postaj) kaže na njihovo preudarno umeščanje v prostor.

*Preglednica 8: Porazdelitev deleža železnice glede na površino razredov verjetnosti pojavljanja plazov v Sloveniji.*

verjetnost pojavljanja plazov	je ni	zelo majhna	majhna	srednja	velika	zelo velika
število celic z železnico	45456	7286	9454	4467	6269	2052
delež celic z železnico	60,62 %	9,72 %	12,61 %	5,96 %	8,36 %	2,74 %
površina razreda (km <sup>2</sup> )	5674,99	3451,61	4254,22	2026,78	3445,53	1412,67
delež površine razreda	28,00 %	17,03 %	20,99 %	10,00 %	17,00 %	6,97 %

*Preglednica 9: Porazdelitev deleža železniških postaj glede na površino razredov verjetnosti pojavljanja plazov v Sloveniji.*

verjetnost pojavljanja plazov	je ni	zelo majhna	majhna	srednja	velika	zelo velika
število celic z železniško postajo	194	22	23	15	21	8
delež celic z železniško postajo	68,55 %	7,77 %	8,13 %	5,30 %	7,42 %	2,83 %
površina razreda (km <sup>2</sup> )	5674,99	3451,61	4254,22	2026,78	3445,53	1412,67
delež površine razreda	28,00 %	17,03 %	20,99 %	10,00 %	17,00 %	6,97 %

## 6 Sklep

Prostorsko matematično modeliranje naravnih pojavov omogoča izdelavo napovedi njihovega pojavljanja in posredno oceno izpostavljenosti okolja. Ker je dandanes informacija o medsebojnem vplivu človeka in okolja ključnega pomena za kar se da nemoteno delovanje družbe, igrata ažurnost in celovitost informacij o stanju okolja in dogajanju v njem pomembno vlogo. Prispevek je pokazal učinkovito končno uporabnost rezultatov modeliranja prostorskih podatkov in analiz vplivov obravnavanih pojavov na človekovo okolje v GIS-ih. Dobljeni rezultati tako služijo kot eden od osnovnih vhodnih podatkov pri načrtovanju rabe prostora na nivoju države.

## 7 Viri in literatura

Buser, S. v tisku: Geološka karta Slovenije 1 : 250.000. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.  
DRSC, 2000: Digitalna mreža državnih cest. – MPZ, Direkcija RS za ceste, Ljubljana.

- Galloway, J. 2001: *Geologic Hazards*. – Cañada College, p. 7, Redwood City.
- Komac, M. 2005a: Napoved verjetnosti pojavljanja plazov z analizo satelitskih in drugih prostorskih podatkov. Ljubljana.
- Komac, M. 2005b: Intenzivne padavine kot sprožilni dejavnik pri pojavljanju plazov v Sloveniji. *Geologija* 48–2. Ljubljana.
- Komac, M. in Ribičič, M. 2006: Karta verjetnosti pojavljanja plazov v Sloveniji v merilu 1 : 250.000. *Geologija* 49–2 (v tisku). Ljubljana.
- Komac, M., Ribičič, M., Šinigoj, J., Krivic, M., Kumelj, Š. 2005b: Analiza pojavljanja plazov v Sloveniji in izdelava karte verjetnosti plazenj – projekt: Novelacija in nadgradnja informacijskega sistema o zemeljskih plazovih in vključitev v bazo GIS\_Ujme. Fazno poročilo za leto 2005. Geološki zavod Slovenije. Ljubljana.
- Komac, M., Šinigoj, J., Krivic, M., Kumelj, Š., Hribernik, K., Vehovec, A. 2005a: Pregled in analiza podatkov v obstoječih bazah plazov za novelacijo baze gis\_ujME. – Geološki zavod Slovenije. Ljubljana.
- Medmrežje 1: <http://www.pls.lib.ca.us/smcccd/faculty/galloway/haz.9.html> (2001)
- Medmrežje 2: <http://disaster.ceos.org/landslide.htm> (2001)
- Medmrežje 3: [http://www.delo.si/index.php?sv\\_path=43,50&id=df162ff727d19b430b1abfc31a4ece5104&source=Delo](http://www.delo.si/index.php?sv_path=43,50&id=df162ff727d19b430b1abfc31a4ece5104&source=Delo) (3. 8. 2001)
- Medmrežje 4: [http://www.delo.si/index.php?sv\\_path=43,50&id=989117b1b268c4aca9a8a0ad77b7d04c04&source=Delo](http://www.delo.si/index.php?sv_path=43,50&id=989117b1b268c4aca9a8a0ad77b7d04c04&source=Delo) (14. 9. 2003)
- Medmrežje 5: [http://www.stat.si/letopis/index\\_letopis.asp](http://www.stat.si/letopis/index_letopis.asp) (2005)
- Ministrstvo za okolje in prostor, ARSO 2005: Interaktivni naravovarstveni atlas Republike Slovenije. Ljubljana.
- MKGP, 2002: Zajem in spremljanje rabe kmetijskih zemljišč 2002. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Ljubljana.
- MOP-GURS, 2005a: Kataster stavb. Ministrstvo za okolje in prostor, Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana.
- MOP-GURS, 2005b: Topo 25 – ceste. Ministrstvo za okolje in prostor, Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana.
- MOP-GURS, 2005c: Topo 25 – železnice. Ministrstvo za okolje in prostor, Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana.
- Ribičič, M., Buser, I. & Hoblaj, R. 1994: Digitalno atributna/tabelarična baza zemeljskih plazov Slovenije za terenskizajem podatkov. Prvo slovensko posvetovanje o zemeljskih plazovih, Idrija, 17. in 18. november 1994. Idrija.
- Singhroy, V., Van Westen, C. J., Bannert, D., Wasowski, J., Lacoul, M., Ohkura, H., Mitchell, C., & Massonnet, D. 2000: Report of the Landslide Hazard Team – Executive Summary. The CEOS Group, Committee on Earth Observation Satellites Disaster Management Support Group.
- Voogd, H. 1983: *Multicriteria evaluation for urban and regional planning*. London.

## **GEOINFORMACIJSKA PODPORA PRI DOLOČANJU PREDNOSTNE SANACIJE NEUREJENIH ODLAGALIŠČ**

**Mateja Breg, mag. Jerneja Fridl in dr. Aleš Smrekar**

Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

Gosposka ulica 13, 1000 Ljubljana, Slovenija

[mateja.breg@zrc-sazu.si](mailto:mateja.breg@zrc-sazu.si), [jerneja@zrc-sazu.si](mailto:jerneja@zrc-sazu.si), [ales.smrekar@zrc-sazu.si](mailto:ales.smrekar@zrc-sazu.si)

UDK: 628.4:659.2:004(497.4)

### **IZVLEČEK**

#### **Geoinformacijska podpora pri določanju prednostne sanacije neurejenih odlagališč**

Neurejena odlagališča odpadkov na vodovarstvenih območjih ogrožajo podtalnico in s tem vodni vir. Popolna sanacija je težko in redko izvedljiva, zato je treba določiti negativne učinke odlagališč in izdelati prednostni seznam njihove sanacije.

V podporo metodologiji sanacije odlagališč na Jarškem prostoru smo vzpostavili celovit geografski informacijski sistem, ki vključuje kataster odlagališč, gramoznic, opozorilnih tabel in cestnih ovir. Iz različnih podatkovnih slojev smo z osnovnimi GIS analizami generirali devet atributnih kazalnikov. Kazalniki so bili glede na razvrstitev v enega od štirih vsebinskih sklopov ovrednoteni z različnimi vrednostmi točk. Glede na vrednosti kazalnikov smo odlagališča razvrstili v pet sanacijskih razredov.

### **KLJUČNE BESEDE**

okoljski GIS, neurejeno odlagališče, gramoznica, kazalnik, sanacija, Slovenija, Ljubljana

### **ABSTRACT**

#### **Geoinformational support in determining priorities for the clean-up of illegal waste dumps**

Illegal waste dumps in areas with protected water resources threaten the quality of the groundwater and consequently sources of drinking water. The complete clean-up of these sites is rarely feasible; it is therefore necessary to identify the negative impacts of waste dumps and set priorities in their clean-up.

In support of the methodology for clean-up of the waste dump in Jarški prod we set up a complex geographical information system which includes a registry of waste dumps, gravel pits, warning signs, and road barriers. Drawing from different layers and using GIS analyses we generated nine attributive indicators. These indicators were assigned values depending on their grouping in one of four content-based sets, and depending on the values of the indicators, waste dumps were classified into five categories with respect to clean-up.

### **KEYWORDS**

environmental GIS, illegal waste dump, gravel pit, indicator, clean-up, Slovenia, Ljubljana

## 1 Uvod

V prestolnici Ljubljana proizvedemo letno približno 120.000 ton različnih odpadkov (medmrežje), od katerih, kljub preventivno zastavljeni okoljski zakonodaji, manjši del še vedno odlagamo na neurejenih odlagališčih. Ta obremenjujejo okolje in so z estetskega vidika zelo moteča, zato so potrebni določeni ukrepi. Revitalizacija degradirane pokrajine je mogoča s pomočjo kakovostnih sanacijskih programov. Takšni programi prvenstveno zahtevajo natančno presojo obstoječega obremenjevanja okolja ter pretehtano izbiro najustreznejših metod in ukrepov sanacije, pri katerih lahko z uporabo geografskih informacijskih sistemov dosežemo boljše rezultate. Na Geografskem inštitutu Antona Melika ZRC SAZU smo leta 2005 sklenili projekt izdelave katastra in predloga prednostne sanacije odlagališč odpadkov vodozbirnega območja črpališča Jarški prod. Cilj projekta je bil s pomočjo GIS-ov pripraviti model prednostne sanacije odlagališč in temu prilagojen načrt sanacijskih ukrepov. V skladu s cilji smo najprej zajeli podatke na terenu. S terenskim popisom lokacij in lastnosti odlagališč odpadkov ter objektov, ki so funkcijsko povezani z njimi, smo na Jarškemrodu evidentirali 151 neurejenih odlagališč odpadkov, 22 gramoznic, 15 ovir in 10 obvestilnih tabel. Podatkovno bazo terenskih podatkov o neurejenih odlagališčih (46 atributov) smo dopolnili z nekaterimi podatki iz obstoječih podatkovnih slojev (21 atributov), kar je bila dobra podpora za nadaljnje analize. Poseben poudarek smo dali izpeljavi devetih kazalnikov, s pomočjo katerih smo popisana odlagališča razvrstili v pet razredov prednostne sanacije. S tem smo postavili temeljna izhodišča za izvedbo sanacijskih ukrepov obstoječih neurejenih odlagališč na območju Jarškega proda.

V letu 2006 smo nadaljevali s popisom odlagališč odpadkov v bližini ostalih vodarn, pomembnih za oskrbo Mestne občine Ljubljana s pitno vodo (UL SRS 13/1988, UL RS 120/2004). Tako bo že vzpostavljena podatkovna baza ustrezno dopolnjena s približno 1450 objekti.

## 2 Odlagališča odpadkov na vodovarstvenih območjih

### 2.1 Okoljevarstvena problematika neurejenih odlagališč

Neurejenih odlagališč odpadkov je v Sloveniji veliko in so razmeroma nezaželen in moteč del pokrajine. Večinoma gre za odlagališča z mešanimi odpadki lokalnega izvora. Njihova lega je v številnih primerih neugodna tako z vidika onesnaževanja voda kot tudi zaradi neugodnega videza, kar je neposredno povezano s kakovostjo bivalnega okolja.

Na vodovarstvenem območju vodarne Jarški prod so prav odlagališča odpadkov najbolj pereč problem, saj ga urbanizacija in kmetijstvo zaradi odmaknjenosti manj ogrožata. Odlaganje je še posebej intenzivno, ker neurejenost območja, številne opuščene dostopne gramoznice in drevesno-grmovna vegetacija naravnost »vabijo« k odlaganju odpadkov. Neurejena odlagališča so potencialna nevarnost onesnaženja podtalnice, še posebej na mestih, kjer je podtalnica blizu površju, kjer je prepustnost krovne plasti velika in zaradi večjih količin padavin prihaja do intenzivnejšega izpiranja. Podtalnica je dodatno obremenjena tudi zaradi antropogenih dejavnikov, kot je kopanje gramoza. S tem se globina do podtalnice tanjša, izpraznjene gramoznice pa postanejo uporabne za odlaganje novih odpadkov. Zaradi navedenih razlogov bi morala Mestna občina Ljubljana območje Jarškega proda obravnavati kot prioriteto za izvedbo sanacije obstoječih neurejenih odlagališč.

### 2.2 Pokrajinske značilnosti testnega območja

Jarški prod je območje na severovzhodnem robu mesta Ljubljane. Leži na levem bregu reke Save, južno od industrijsko-obrtno-servisne cone, ki se razprostira med Črnučami in Nadgorico in je tudi vodovarstveno območje vodarne Jarški prod. Preučevano območje ima površino 216,7 ha znotraj meja

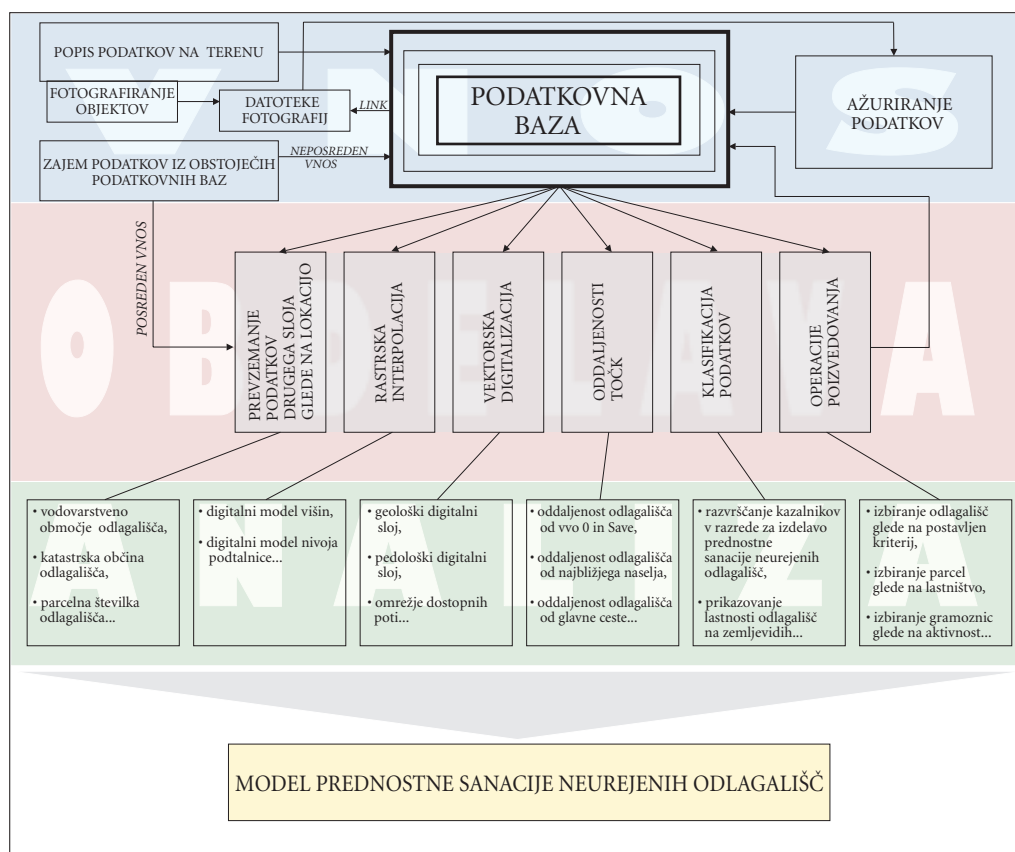
vodovarstvenih območij 0, I in IIA. Vodarna Jarški prod spada med pomembnejše vodne vire za oskrbo mesta Ljubljane (Urbanc in Breg 2005, 38). Predvidoma se bo s priključitvijo novega, četrtega vodnjaka količina dnevno načrpane vode na tem območju bistveno povečala.

Glavni vzrok za neugodno stanje na Jarškemrodu je, da je zaradi morebitnih poplav, neurejene lastniške strukture in vodarne prostor nezanimiv za širitev pozidave, zaradi opuščanja kmetijske dejavnosti pa tudi v zaraščanju. »Prazen« prostor, ki je v prostorskih dokumentih sicer predviden tudi kot rekreacijsko območje (Prostorski plan ... 2002), je brez vsebine, hkrati pa dobro dostopen, kar vabi k neurejenemu odlaganju odpadkov.

### 3 Metodologija sanacije neurejenih odlagališč odpadkov

Poskušali smo zasnovati čimbolj celovit geografski informacijski sistem neurejenih odlagališč odpadkov, z namenom:

- dobiti ažuren kataster neurejenih odlagališč odpadkov na vodovarstvenih območjih, pomembnih za oskrbo Mestne občine Ljubljana s pitno vodo,
- neurejena odlagališča umestiti v prostor, bodisi kot točkovne objekte ali v obliki poligonov (npr. gramoznice) in s tem omogočiti GIS analize,



Slika 1: Shematski prikaz metodologije sanacije neurejenih odlagališč odpadkov.

- pripraviti predlog prednostne sanacije neurejenih odlagališč,
- predstaviti delne ali končne rezultate v obliki tematskih zemljevidov.

Glede na zastavljene cilje smo veliko pozornost posvetili metodološkemu pristopu, kar se je izkazalo kot zelo pozitivno.

## 4 Priprava podatkovne baze

### 4.1 Popis podatkov na terenu

Terensko delo je zajemalo popis neurejenih odlagališč odpadkov na vodovarstvenem območju vodarne Jarški prod. Poleg manjših odlagališč smo v popis zajeli še gramoznice, ovire in opozorilne table; prve zaradi tanjšanja zaščitne plasti in privlačnosti za odlaganje večje količine odpadkov (Breg in Urbanc 2005, 82), ovire in opozorilne table pa z namenom prikazati nemoč zakonodajnih ukrepov in iznajdljivost kršiteljev.

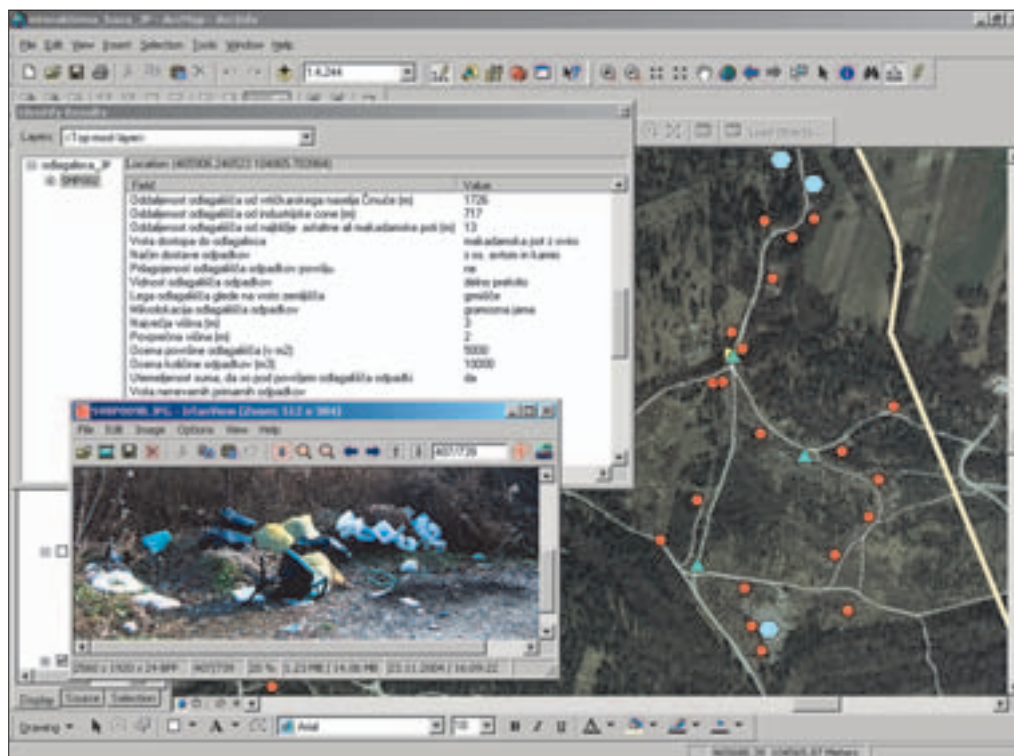
Popis je zajel vidna odlagališča odpadkov na vodovarstvenem območju s prostornino 1 m<sup>3</sup> in več. Kot samostojno odlagališče smo šteli tisto, ki je bilo od sosednjega odlagališča oddaljeno vsaj 3 m. Položaje objektov smo določali z uporabo GPS naprave. Njihova položajna natančnost je bila preverjena s kontrolnimi točkami na ortofoto posnetkih v merilu 1 : 1000. Vse ostale terenske podatke o lastnostih odlagališč (vrsta dostopa, način dostave odpadkov, vidnost odlagališča odpadkov, mikrolokacija odlagališča odpadkov, ocena velikosti odlagališča odpadkov, vrste odpadkov itd.) smo vpisovali v posebej pripravljene popisne liste in jih naknadno vnašali v digitalno podatkovno bazo. Za popis odlagališč, ki ga trenutno izvajamo na preostalih 2529 ha vodovarstvenih območjih Mestne občine Ljubljana, uporabljamo dlančnike, ki omogočajo neposreden vnos podatkov v GIS že na terenu. S tem smo zamuden postopek zajemanja podatkov znatno pospešili in bistveno zmanjšali verjetnost napak.

### 4.2 Zajem podatkov iz obstoječih podatkovnih slojev

Vrsto podatkov je bilo na terenu nemogoče popisati, ali bi to pomenilo podvajanje dela, saj smo jih lahko pridobili iz obstoječih podatkovnih slojev, ki jih vodijo pristojne službe. Nekatere od podatkov smo lahko uporabili neposredno, večino pa smo jih določili posredno z uporabo operacij, ki jih ponuja računalniški program ArcGIS 9.1. Tako smo vsakemu odlagališču pripisali vrednosti za naslednje attribute:

- vodovarstveno območje odlagališča odpadkov glede na režim varovanja (Vodovarstvena območja ... 2002);
- nadmorska višina odlagališča odpadkov (Digitalna topografska karta 2004);
- katastrska občina, parcelna številka ter ime in priimek lastnika, na kateri leži odlagališče (Digitalni katastrski načrt 2004, Zemljiška knjiga);
- geološka podlaga lokacije odlagališča odpadkov (Osnovna geološka karta ... 1983);
- pedološka podlaga lokacije odlagališča odpadkov (Osnovna pedološka karta ... 1985);
- globina povprečnega nivoja podtalnice pod odlagališčem odpadkov (Hidroizohipse nivoja podtalnice 2002);
- oddaljenost od vodovarstvenega območja 0;
- oddaljenost od reke Save;
- oddaljenost odlagališča odpadkov od najbližjega strnjenege dela naselja in vrtičarskega območja in
- oddaljenost odlagališča odpadkov od najbližje glavne ceste.

Zaradi raznovrstnih podatkovnih virov je bilo v obdelavo in poenotenje podatkov vložena veliko truda.



Slika 2: Kataster neurejenih odlagališč odpadkov v programu ArcGIS 9.1.

## 5 Obdelava podatkov

Vzpostavljena podatkovna baza je bila dobro izhodišče za obdelave in matematične analize podatkov, ki jih brez uporabe ustrezne programske opreme, v našem primeru ArcGIS 9.1, ne bi bilo mogoče izvesti. V nadaljevanju je omenjenih nekaj računalniških operacij, ki smo jih pri delu najpogosteje uporabljali.

### 5.1 Prevzemanje podatkov drugega sloja glede na lokacijo

Operacija združevanja atributov dveh podatkovnih slojev glede na lokacijo je zelo uporabna, kadar želimo, da določeni točkovni ali linijski objekti prevzamejo atributne vrednosti poligona, znotraj katerega ležijo. Tako smo s pomočjo omenjene operacije vsakemu popisanemu odlagališču dodali podatek, ali leži v vodovarstvenem območju 0, I, IIA ali IIB, glede na njegov položaj znotraj določene zemljiške parcele pa smo mu pripisali še številko parcele, katastrsko občino, ime in priimek lastnika ter njegov naslov.

### 5.2 Rastrska interpolacija

Vzpostavitev geografskega informacijskega sistema neurejenih odlagališč odpadkov na Jarškem prostoru je temeljila predvsem na vektorskih podatkih. Pri določanju nadmorske višine odlagališča in njegove oddaljenosti od povprečnega nivoja podtalnice smo v vmesni fazi dela uporabili tudi rastrske podat-



ke. Z interpolacijo geodetsko izmerjenih točk terena in hidroizohips nivoja podtalnice smo pripravili rastrski digitalni model višin in rastrski digitalni model nivoja podtalnice z velikostjo celic 5 krat 5 metrov. Naš namen je namreč bil, da odlagališča prevzamejo višine oziroma globine tistih celic, v katere padejo. Da smo lahko vsakemu odlagališču pripisali vrednost ustrezne celice, smo s konverzijo vektorske datoteke točk najprej v 3D-shape in nato nazaj v 2D-shape ustvarili stolpec, v katerem so se z-koordinate izpisale kot atributne vrednosti.

### 5.3 Vektorska digitalizacija

Podatke o vrsti prsti in zgradbi kamnin, na katerih odlagališča ležijo, smo morali v digitalno obliko prenesti s pomočjo vektorske digitalizacije. Na razpolago smo namreč imeli le geološko in pedološko karto na papirju. Zaradi relativno majhnega območja zajema podatkov in manjšega števila poligonov digitalizacija njihovih meja s kurzorjem na digitalni tabli ni predstavljala zahtevnejšega dela. Predvsem je bilo pomembno, da smo natančno določili koordinate trem orientacijskim točkam, saj bi morebitna napaka na tej stopnji dela sistematično vplivala na vrednosti koordinat vseh lomnih točk poligonov (Fridl 1999, str. 56).

### 5.4 Oddaljenosti točk

Več atributov, ki so se nam zdeli pomembni za pripravo seznama prednostne sanacije neurejenih odlagališč, smo določili z uporabo operacije računanja oddaljenosti točk od izbranih objektov. V večini primerov smo uporabili preprostejši algoritem izračuna zračne oddaljenosti točke od najbližjega roba objekta. Na ta način smo za vsako odlagališče določili zračno razdaljo do najbližjega roba vodovarstvenega območja 0, do reke Save ter do najbližjih strnjenih delov naselij in vrtičkarskih območij. Le pri izračunu oddaljenosti odlagališč odpadkov od najbližjih glavnih cest smo zračne razdalje izračunali le do najbližje makadamske poti ali kolovoza, nato pa sledili črti do najbližje glavne prometnice. Z ročnimi meritvami na topografskih kartah bi lahko določili razdalje le za manjše število točk, saj bi sicer porabili zelo veliko časa in naredili vrsto napak (Kvamme s sodelavci 1997, 25). S pomočjo pripravljenih algoritmov smo dobili vrsto številčnih vrednosti, ki smo jih v nadaljevanju uporabili za opredelitev in vrednotenje kazalnikov.

### 5.5 Klasifikacija podatkov

Ena od najpogosteje uporabljenih funkcij je bila klasifikacija podatkov, ki smo jo izvajali na enem ali več podatkovnih slojih. Pod klasifikacijo razumemo razvrščanje številčnih atributnih vrednosti v velikostne razrede in opisnih atributnih podatkov v kategorije (Fridl 1999, 66). Klasifikacija je bila uporabljena v dveh fazah dela. Pri določanju in točkovanju kazalnikov smo glede na lastnosti in frekvenčno porazdelitev atributov za vsakega od devetih kazalnikov določili število razredov oziroma kategorij in njihove meje. Klasifikacija objektov je bila nujna tudi pri pripravi številnih tematskih zemljevidov. Pred dokončno izbiro mej razredov smo največkrat ugotavljali frekvenčno distribucijo vrednosti podatkov v podatkovni bazi in se šele nato odločili za geometrično, aritmetično ali kar empirično metodo postavitve razredov oziroma kategorij.

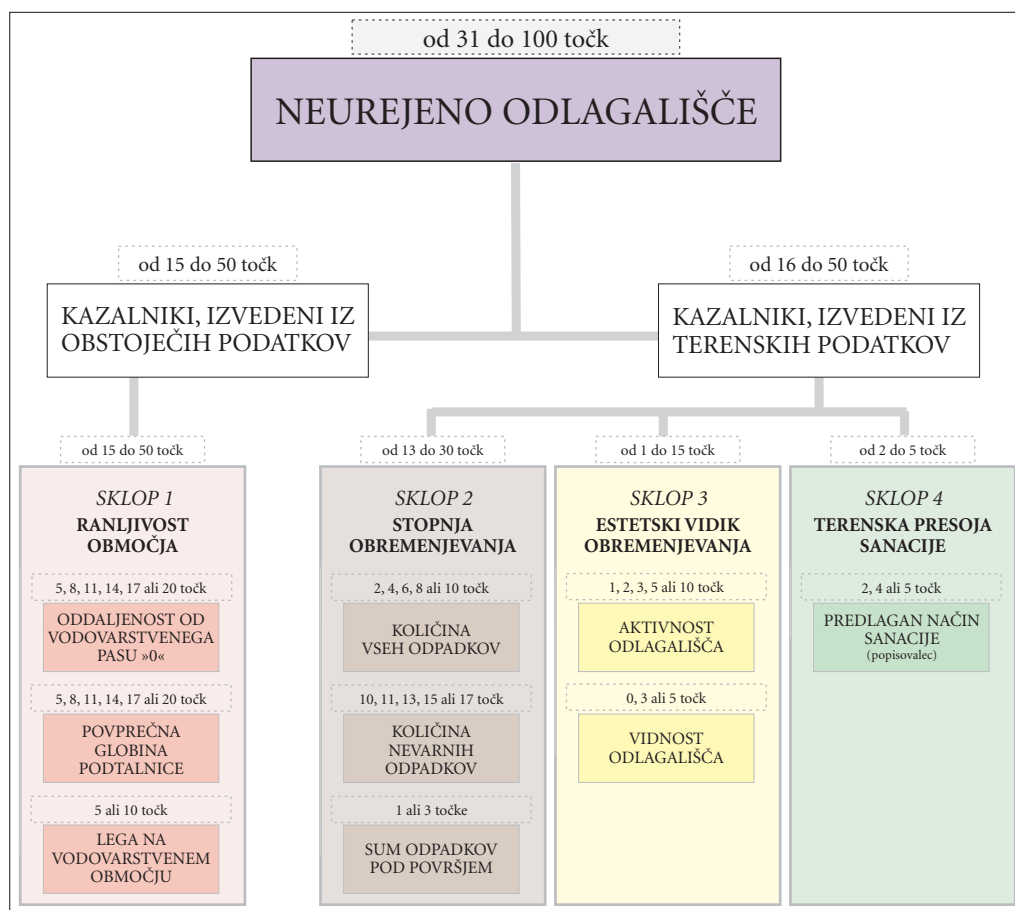
### 5.6 Operacije poizvedovanja

Glavna prednost dobro organizirane podatkovne baze, ki jo je seveda treba sproti ažurirati in dopolnjevati, je v hitrosti dobivanja informacij. Tako lahko s smiselnimi poizvedovalnimi vprašanji dobimo sezname vseh odlagališč, ki ustrezajo postavljenim pogojem (na primer vsa odlagališča s količino od 500 do 1000 m<sup>3</sup> odpadkov, oziroma odlagališča, ki ležijo v suhih strugah ter so od Save oddaljena manj

kot 100 m in podobno). Poizvedovanje po bazi se je v veliki meri uporabljalo tudi pri točkovanju posameznih kazalnikov, saj smo potem, ko smo dorekli metodologijo njihove klasifikacije in vrednotenja, najprej poiskali vsa odlagališča, katerih atributne vrednosti so ležale znotraj meje posameznega razreda in jim pripisali izbrano število točk.

## 6 Klasifikacija in vrednotenje kazalnikov

Zaradi velikih stroškov celovita sanacija neurejenih odlagališč na Jarškem prostoru ni izvedljiva v kratkem času. Zato smo glede na ranljivost območja odlagališča, stopnjo obremenjevanja odlagališča, estetski vidik obremenjevanja odlagališča ter terensko presojo možne sanacije odlagališča le-ta smiselno uvrstili v pet razredov prednostne sanacije. V štirih vsebinskih sklopih smo izpostavili devet kazalnikov, ki smo jih glede na lastnosti posameznih odlagališč oziroma njihovih atributnih vrednosti številčno ovrednotili. Za vsak objekt smo določili takšno vrednost točk posameznega kazalnika, ki ustreza dejanskemu stanju na terenu ali obstoječim podatkom o odlagališču. Vrednost točk je temeljila na celoviti presoji vpliva posameznih dejavnikov. Tako smo na primer presodili, da je oddaljenost od vodovars-



Slika 3: Shematski prikaz klasifikacije in točkovanja kazalnikov, razvrščenih v štiri vsebinske sklope.

tvenega območja 0 zelo pomembna in jo lahko ocenimo z maksimalno oceno 20 od skupno 100 možnih točk. Povprečno so odlagališča od najbližjega roba vodovarstvenega območja 0 oddaljena 753 m, dvanajst med njimi jih je oddaljenih več kot 1500 m. Na temelju teh ugotovitev smo določili 6 razredov oddaljenosti: od 0 do 300 m (20 točk), od 301 do 600 m (17 točk), od 601 do 900 m (14 točk), 901 do 1200 m (11 točk), od 1201 do 1500 m (8 točk) in od 1501 do 1800 m (5 točk). Na podoben način so bile določene tudi vrednosti ostalih kazalnikov. Točkovanje je temeljilo na pokrajinskoekoloških značilnostih območja in na tistih lastnostih odlagališč odpadkov, ki so z vidika obremenjevanja vodnega vira in drugih negativnih vplivov na okolje najpomembnejši.

Glede na število točk vseh devetih kazalnikov smo vsako odlagališče razvrstili v enega od pet razredov prednostne sanacije:

- 1. razred: od 71 do 90 točk (12 odlagališč);
- 2. razred: od 61 do 70 točk (25 odlagališč);
- 3. razred: od 51 do 60 točk (37 odlagališč);
- 4. razred: od 41 do 50 točk (50 odlagališč);
- 5. razred: od 30 do 40 točk (27 odlagališč).

Večje število točk pomeni večjo obremenitev okolja, še posebej vodnega vira, zato je treba pri sanaciji posebno pozornost nameniti neurejenim odlagališčem iz prvih dveh razredov.

## 7 Urejanje problematike neurejenih odlagališč

Reševanje problema neurejenih odlagališč na Jarškem prostoru se mora izvajati v dveh stopnjah. Najprej je nujna sanacija obstoječih neurejenih odlagališč, dolgoročno pa je treba posebno pozornost nameniti dodatnim preventivnim ukrepom, ki bi zmanjšali ali povsem onemogočili nadaljnje odlaganje odpadkov.

### 7.1 Prednostna sanacija neurejenih odlagališč odpadkov

Priporočljivo je, da sanacija manjših, točkovnih odlagališč ali večjih, ploskovnih virov obremenjevanja podtalnice, kot so na primer gramoznice, poteka po pripravljenem sanacijskem načrtu. Z vidika ohranjanja podtalnice je smiselno 12 odlagališč, ki so se po seštevku točk posameznih kazalnikov uvrstila v 1. razred, sanirati takoj, 25 odlagališč iz 2. razreda pa čim prej. Neurejena odlagališča, uvrščena v ostale tri prednostne razrede, so sicer bolj moteča z estetskega vidika kot z vidika onesnaževanja in jih je mogoče sanirati postopoma.

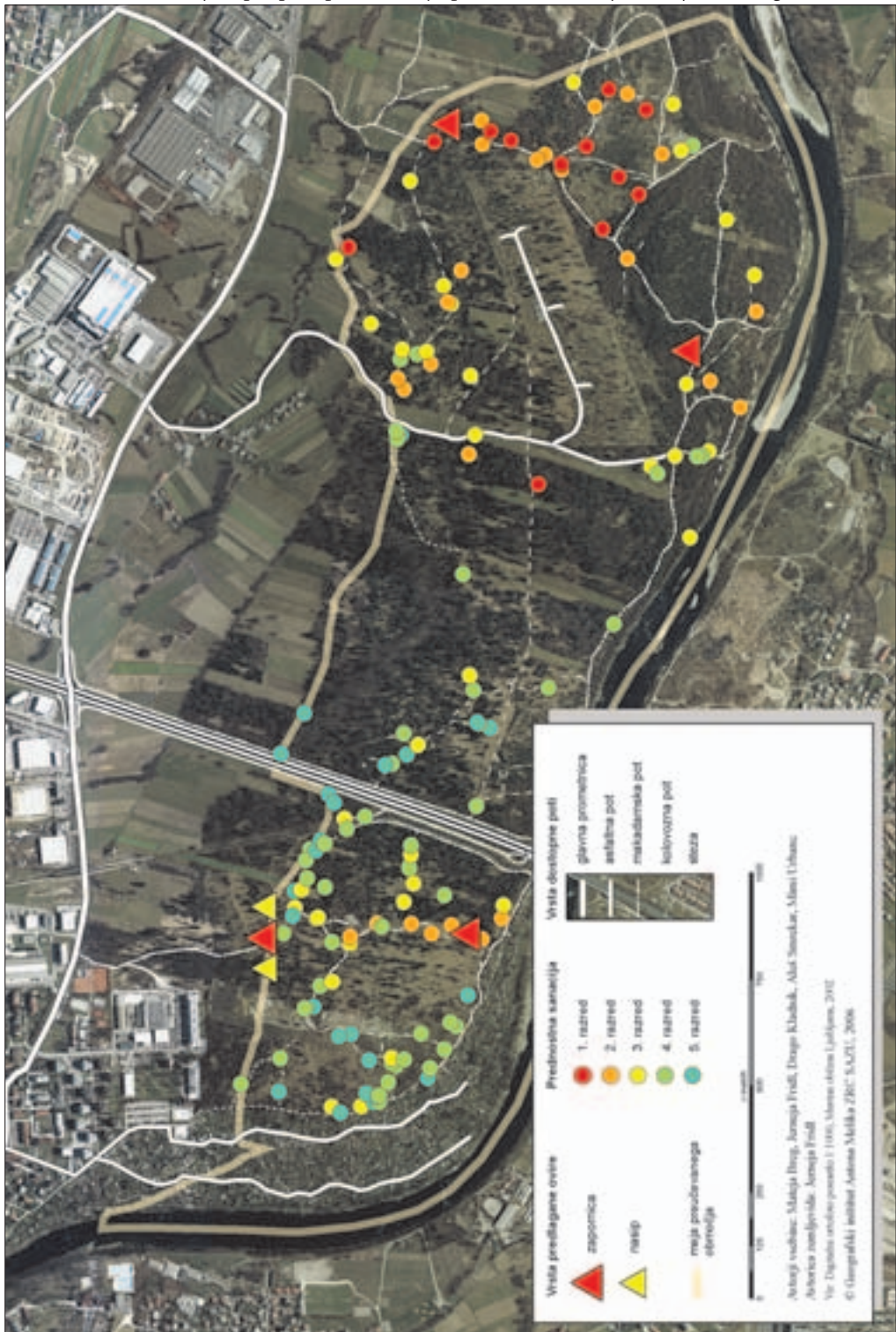
Predstavljeni rezultati so dobro izhodišče za izvedbo sanacije, pri kateri pa se bodo verjetno pojavile dodatne omejitve, ki bodo povzročile težave ali celo onemogočile sanacijo izbranega odlagališča. Pri tem imamo v mislih predvsem dostopnost, saj vsa odlagališča ne ležijo ob dovoznih poteh, pridobiti pa bo treba tudi soglasja lastnikov. Zaradi tega smo v model prednostne sanacije vključili tudi podatkovni sloj zemljiškega katastra in za preučevano območje pripravili omrežje stez, kolovozov, makadamskih poti in asfaltnih cest.

### 7.2 Preventivni ukrepi

S pomočjo analize dejanskega stanja na terenu smo dobili jasno sliko, na katerem delu obravnavanega območja je problem odlaganja odpadkov najbolj pereč. Zato smo v okviru predloga sanacijskih ukrepov predvideli omejitve dostopov do mest, kjer se pojavlja večje število aktivnih odlagališč. Izmed vseh vrst ovir so se zapornice izkazale za najbolj učinkovite, zato predlagamo postavitev štirih novih

*Slika 4: Predlog reševanja problema neurejenih odlagališč na Jarškem prostoru.*

Geoinformacijska podpora pri določanju prednostne sanacije neurejenih odlagališč



zapornic na dovozne poti, ki vodijo na najbolj kritična območja. Številnih opozorilnih tabel ob dovoznih poteh, ki prepovedujejo odlaganje odpadkov, kršitelji žal ne upoštevajo. To tudi potrjuje dejstvo, da bo v prihodnje treba poostriži inšpekcijski in policijski nadzor ter učinkoviteje izvajati kaznovalno politiko. Pri tem lahko pripravljena podatkovna baza bistveno olajša nadzor inšpekcijskim službam, saj je neposredno uporabna za delo z dlančniki. Ker so v posebnem stolpcu podatkovne baze definirane povezave na njihove fotografije, je s tem olajšano prepoznavanje obstoječih odlagališč na terenu, hkrati pa je lažje najti novonastalo odlagališče in ga neposredno vstaviti v že vzpostavljeno bazo.

## 8 Sklep

Želena raven kakovosti podtalnice lahko ohranimo le, če v bližini črpališč pitne vode ne bo nako-pičenih večjih količin odpadkov. Opravljene raziskave v Mestni občini Ljubljana so žal pokazale, da je na nekaterih vodovarstvenih območjih stanje zaskrbljujoče. Na Jarškemrodu problema ni mogoče rešiti v kratkem času, predvsem zaradi velikega števila neurejenih odlagališč in količin odpadkov ter omejenih tehničnih in finančnih sredstev za njeno izvedbo. Na podlagi terenskih raziskav, ocene ranljivosti območja in stanja posameznih odlagališč smo s pomočjo GIS programov pripravili vrstni red prednostne sanacije.

Predstavljena metodologija popisa in prednostne sanacije neurejenih odlagališč odpadkov se je na območju vodarne Jarški prod izkazala kot ustrezna. Zato je brez večjih dopolnitev uporabljena tudi pri popisovanju neurejenih odlagališč na ostalih vodovarstvenih območjih, pomembnih za oskrbo mesta Ljubljane in njenega zaledja.

Sanacija neurejenih odlagališč žal ni edina rešitev predstavljenega problema. V prihodnje je treba več pozornosti nameniti tudi preventivnim ukrepom. Že v zelo kratkem času lahko s postavitvijo dodatnih ovir ter poostritvijo nadzora in kaznovalne politike preprečimo dovažanje novih odpadkov brez večjih finančnih vlaganj. Večjo pozornost bo treba nameniti tudi načrtovanju rabe prostora na vodovarstvenih območjih. Zlasti bo potrebno veliko pozornosti nameniti pospešenemu in poglobljenemu informiranju, izobraževanju in ozaveščanju različnih skupin prebivalcev.

## 9 Viri in literatura

- Breg, M.; Fridl, J.; Kladnik, D.; Smrekar, A. 2005: Vrednotenje nedovoljenih odlagališč odpadkov glede na nujnost njihove sanacije. *Geografski vestnik* 77–1, Ljubljana.
- Breg, M.; Fridl, J.; Kladnik, D.; Smrekar, A.; Urbanc, M. 2005: Izdelava katastra in predloga prednostne sanacije odlagališč odpadkov vodozbirnega območja črpališča Jarški prod. *Elaborat*. Ljubljana.
- Breg, M., Urbanc, M. 2005: Gramoznice in dileme (ne)trajnostnega razvoja degradirane obrečne pokrajine, IB 39–4, Ljubljana.
- Digitalna topografska karta. Digitalni podatki. Mestna občina Ljubljana. Ljubljana, 2004.
- Digitalni katastrski načrt. Digitalni podatki. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2004.
- Digitalni ortofoto posnetki. Digitalni podatki. Mestna občina Ljubljana. Ljubljana, 2002.
- Fridl, J. 1999: Metodologija tematske kartografije nacionalnega atlasa Slovenije. *Geografija Slovenije* 2. Ljubljana.
- Hidroizohipse nivoja podtalnice. Digitalni podatki. Javno podjetje Vodovod-Kanalizacija d. o. o. Ljubljana, 2002.
- Kwamme, K.; Oštir-Sedej, K.; Stančič, Z.; Šumrada, R. 1997: *Geografski informacijski sistemi*. Ljubljana.
- McCoy, J., Johnston, K. 2001: *Using ArcGIS Spatial Analyst*. Redlands.
- Medmrežje: <http://www.stat.si/pxweb/Database/Obcine/Obcine.asp> (24. 5. 2006).

- Odlok o varstvu virov pitne vode. Uradni list Socialistične republike Slovenije 13/1988. Ljubljana.
- Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000. List: Ljubljana, L 33–66. Geološki zavod Slovenije. Beograd 1983.
- Osnovna pedološka karta SFRJ 1 : 50.000. List: 06-Ljubljana-2. Ljubljana, 1985.
- Prostorski plan Mestne občine Ljubljana, Prostorska zasnova. Ljubljana, 2002.
- Shaner, J., Wrightsell, J. 2000: Editing in ArcMap. Redlands.
- Tucker, C. 2000: Using ArcToolbox. Redlands.
- Urbanc, M., Breg, M. 2005: Gravel Plains in Urban Areas: Gravel Pits as an Element of Degraded Landscapes. Geografski zbornik 45–2, Ljubljana.
- Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnika Ljubljanskega polja. Uradni list Republike Slovenije, 120/2004. Ljubljana.
- Vodovarstvena območja črpališč pitne vode v Mestni občini Ljubljana. Digitalni podatki. Javno podjetje Vodovod-Kanalizacija d. o. o. Ljubljana, 2004.

*Izsledki so iz raziskovalne naloge Izdelava katastra in predloga prednostne sanacije odlagališč odpadkov vodozbirnega območja črpališča Jarški prod, ki sta jo financirala Oddelek za kulturo in raziskovalno dejavnost Mestne občine Ljubljana ter Javno podjetje Vodovod-Kanalizacija d. o. o.*



## **GEOINFORMACIJSKA PODPORA VODNI BILANCI POREČJA SAVINJE V OBDOBJU 1971–2000**

**Peter Frantar in Mojca Dolinar**

Agencija Republike Slovenije za okolje

Vojkova cesta 1B, 1000 Ljubljana

*peter.frantar@gov.si, m.dolinar@gov.si*

UDK: 556.1:659.2:004(497.4)"1971/2000"

### **IZVLEČEK**

#### **Geoinformacijska podpora vodni bilanci porečja Savinje v obdobju 1971–2000**

Vodna bilanca porečja Savinje 1971–2000 je bila izdelana v okviru projekta Vodna bilanca Slovenije z namenom preverjanja uporabljenih metod za korekcijo padavin in pretokov ter za prostorsko interpolacijo padavin in izhlapevanja. Porečje Savinje smo razdelili na hidrometrična zaledja vodomernih postaj ter z analizo podatkov v geoinformacijskem okolju izvedli primerjavo pretokov, padavin in izhlapevanja. V skupnem regionalnem pogledu se podatki posameznih elementov vodnega kroga dobro skladajo. S tem smo potrdili uporabnost privzetih metod, ki jih bomo uporabili za izračun vodne bilance za celo državo.

### **KLJUČNE BESEDE**

vodna bilanca, padavine, izhlapevanje, odtok, geografski informacijski sistem, prostorska interpolacija

### **ABSTRACT**

#### **Geoinformational support for the 1971–2000 Savinja river water balance**

Water balance for Savinja watershed was performed in order to validate the methods for precipitation and runoff corrections and methods for spatial interpolation of precipitation and evaporation. Savinja watershed was divided into the hydrometrical units created upon existing water dividing lines. Water balance elements: precipitation, evaporation and runoff were analyzed and compared in GIS. The results were promising: water balance for the whole Savinja watershed was unbiased and the results proved that the selected correction and interpolation methods are suitable for water balance calculation on the entire territory of Slovenia.

### **KEYWORDS**

water balance, precipitation, evapotranspiration, runoff, geographical information system, spatial interpolation



## 1 Uvod

Leta 2004 smo na Agenciji za okolje začeli z delom na projektu Vodna bilanca Slovenije za obdobje 1971–2000. Del rezultatov projekta smo preverili tudi z analizo vodne bilance na hidrografskem območju Savinje. Preverili smo uporabnost posameznih metod korekcije padavin in pretokov ter metod za prostorsko interpolacijo padavin in izhlapevanja pri tem pa smo se omejili na osnovne elemente hidrološkega cikla – padavine, izhlapevanje in odtok. Porečje Savinje smo razdelili na hidrometrična zaledja upoštevanih vodomernih postaj po katerih smo primerjali pretoke, padavine in izhlapevanje. Predstavljene so glavne ugotovitve izdelave vodne bilance.

## 2 Metodologija

Vodna bilanca je razdelitev vodnega kroga na določenem območju na njegove sestavne člene. Izračun temelji na primerjavi dotokov in padavin z odtoki, evapotranspiracijo ter spremembo vodnih zalog. Pri izračunu nismo upoštevali sprememb vodnih zalog, saj smo predpostavili, da je ta člen bilance zaradi povprečevanja po dolgoletnem obdobju zanemarljiv (Kolbezen et al. 1998; Frantar et al. 2005). Uporabili smo osnovno enačbo vodne bilance, ki predpostavlja ravnovesje padavin z odtokom in evapotranspiracijo:

$$\text{Padavine (P)} = \text{Odtok (Q)} + \text{Evapotranspiracija (E)}$$

Porečje Savinje meri po orografskih razvodnicah 1850 km<sup>2</sup>. Vodomerne postaje (vp) smo zaradi primerjave izbrali v skladu z že izdelano vodno bilanco obdobja 1961–1990 (Kolbezen et al. 1998), dodali smo le še vp Veliko Širje, ki zaključuje porečje Savinje. Za osnovo smo morali izbranimi postajam

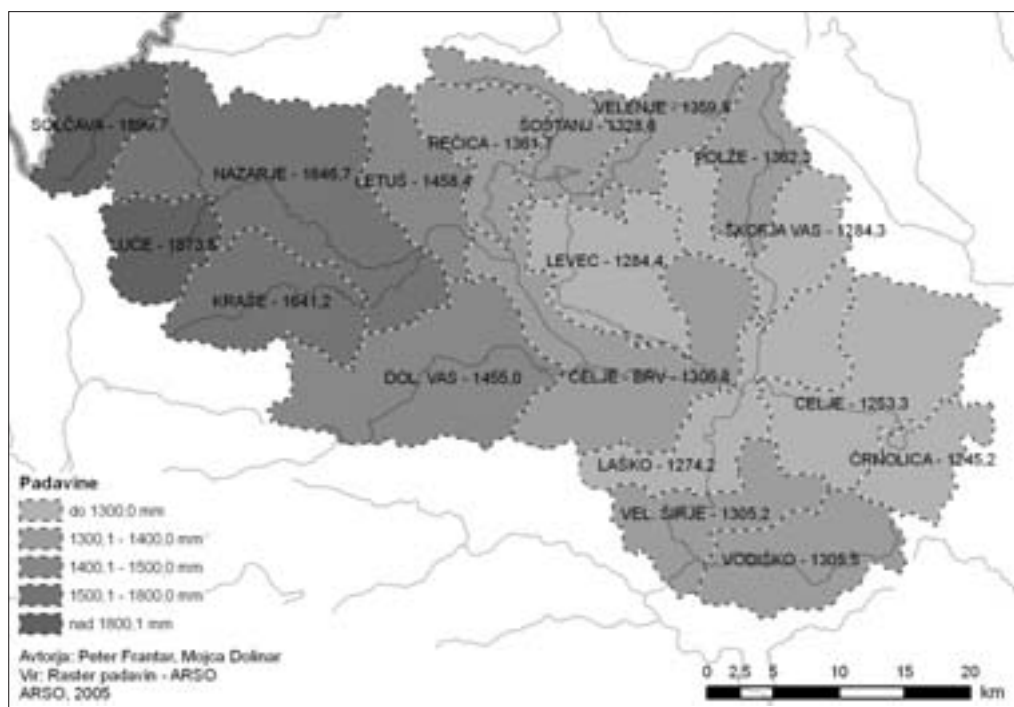
*Preglednica 1: Izbrane vodomerne postaje z osnovnimi podatki.*

šifra	vodomerne postaje	vodotok	začetek delovanja	vodozbirno zaledje	hidromet. zaledje
6020	Solčava I	Savinja	1959	63,7	63,41
6060	Nazarje	Savinja	1926	457,3	235,48
6068	Letuš I	Savinja	1994	529,7	72,41
6140	Celje II – Brv	Savinja	1960	1189,2	182,93
6200	Laško I	Savinja	1953	1663,6	117,42
6210	Vel. Širje I	Savinja	1967	1841,9	81,94
6220	Luče	Lučnica	1954	57,5	57,39
6240	Kraše	Dreta	1958	100,8	100,84
6280	Velenje	Paka	1964	63,3	63,36
6300	Šoštanj	Paka	1956	131,2	68,38
6340	Rečica	Paka	1972	205,4	74,34
6550	Dol. vas II	Bolska	1962	169,5	170,47
6630	Levec I	Ložnica	1967	102,9	102,89
6690	Črnlolica	Vogljajna	1959	53,7	54,00
6720	Celje II	Vogljajna	1966	202,2	148,92
6770	Polže	Hudinja	1953	69,1	69,09
6790	Škofja vas	Hudinja	1983	156,5	86,84
6835	Vodiško I	Gračnica	1991	96,6	97,02

določiti hidrometrična zaledja. Osnovni poligoni le-teh so bili pridobljeni iz linijskega GIS sloja baze razvodnic, ki jo redno osvežuje državna hidrološka služba. Linije so bile v orodju Mapinfo ročno povezane in združene v poligone. Tako v predstavljeni analizi porečje Savinje sestavlja 18 hidrometričnih porečij (Frantar 2003), ki so predstavljali osnoven prostorski element (poligone) za izračun dejanskih neto odtokov, povprečnih padavin ter izhlapevanja z GIS orodji.

### 3 Padavine

Padavinska karta za obdobje 1971–2000 je bila narejena na podlagi meritev padavin na 201 lokaciji po Sloveniji. Upoštevali smo namreč le tiste padavinske postaje, ki so v obravnavanem obdobju 1971–2000 delovale vsaj 28 let. Manjkajoče podatke smo interpolirali na osnovi meritev na najbližjih delujočih postajah. Z ombrometri izmerjene padavine so podcenjene, v nižinah do 10 %, v višjih, vetru izpostavljenih legah, lahko tudi do 80 %. Za potrebe izračuna vodne bilance smo izmerjene padavine korigirali, pri čemer smo upoštevali vpliv vetra, intenzitete padavin in omočenosti ombrometra. Korekcijske faktorje za Hellmanov ombrometer smo povzeli po Forlandu (Forland et. al. 1996), ki je na podlagi empiričnih poizkusov v vetrovnem tunelu in numeričnih simulacij (Nespor in Sevruc 1999) izpeljal dinamični korekcijski model, ki upošteva vrsto padavin, njihovo intenziteto ter hitrost vetra. Ker na padavinskih postajah ne merimo vetra, smo reprezentativne postaje z meritvami vetra poiskali s pomočjo karte povprečnih vetrov. Vsaki postaji z meritvami vetra smo priredili nabor padavinskih postaj, ki so ji glede na prevetrenost najbolj podobne. Za iskanje reprezentativnih postaj z meritvami vetra smo sestavili model v GIS (ArcGIS), kjer smo za izbirne kriterije določili razdaljo padavinske postaje od postaje z meritvami vetra, podobnost vetrnih razmer na podlagi rastrske karte povprečnih vetrov in ujemanje

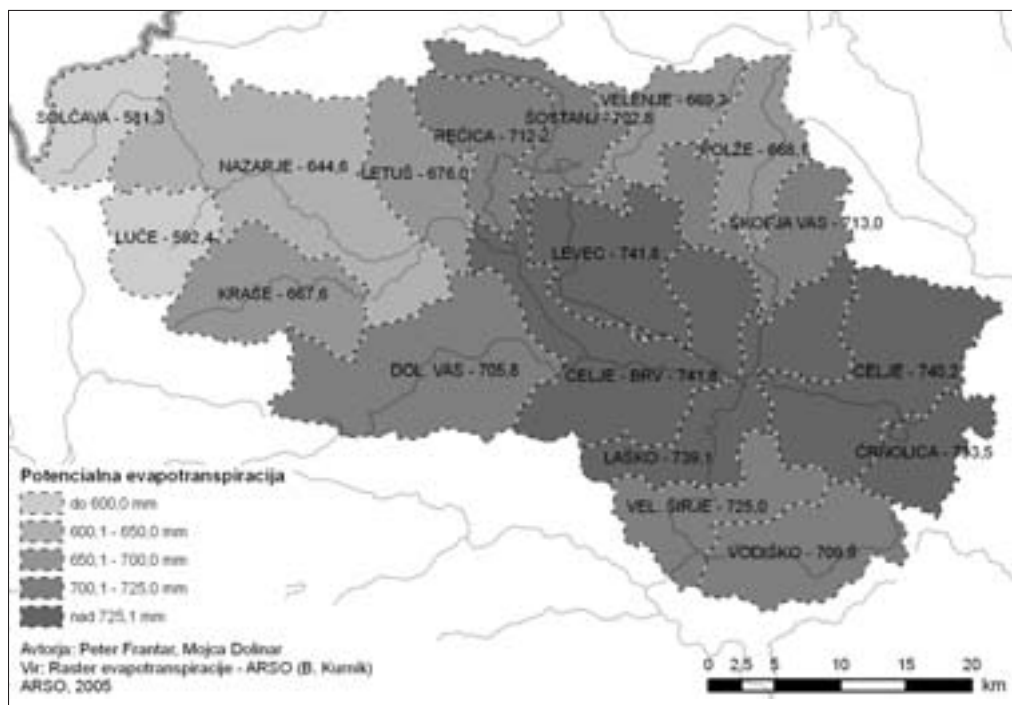


Slika 1: Povprečna letna količina padavin po hidrometričnih zaledjih v mm v obdobju 1971–2000.

nadmorskih višin z dovoljenim odstopanjem  $\pm 100$  m. Pri izračunu korekcijskih faktorjev smo upoštevali še vrsto in intenziteto padavin. Tudi intenziteta padavin se meri le na nekaj postajah po Sloveniji. Tako smo padavinskim postajam poiskali referenčne postaje z intenzito padavin prav tako z modelom v GIS. Kriterij je bila podobnost 24-urnih padavin s 50 letno povratno dobo, ki smo jo določili iz rastrske karte v 100 m ločljivosti ter pripadnost isti padavinski regiji. Padavinske regije smo določili na podlagi dolgoletnih mesečnih povprečij padavin (12 kart; ločljivost 100 m) ter DMR (ločljivost 100 m). Vse padavine smo korigirali na dnevni ravni, saj bi zaradi velike spremenljivosti vetra, vrste in intenzitete padavin (predvsem v zimskih mesecih) na mesečni ravni naredili preveliko napako.

Prostorsko porazdelitev padavin smo izračunali na podlagi korigiranih padavin na 201 lokaciji. Dodatno smo pri interpolaciji upoštevali tudi meritve totalizatorjev in korigiranih padavin iz mejnih postaj Avstrije, Italije in Hrvaške. Pri izračunu prostorskega polja smo upoštevali odvisnost količine padavin od geografskih spremenljivk. Geografske spremenljivke, ki so statistično značilno pojasnjevale prostorsko spremenljivost dolgoletnega povprečja korigiranih padavin so bile: geografska dolžina in širina, njuni kvadrati ter oddaljenost gorskih grebenov v severozahodnem sektorju. Zadnje geografsko spremenljivko smo izračunali na podlagi DMR z ločljivostjo 100 m s pomočjo orodja Spatial Analyst (ArcGIS). Iskali smo relativno nadmorsko višino izhodiščne točke nasproti najvišji višini v sektorju širine  $30^\circ$  s simetralo proti severovzhodu.

Za prostorsko interpolacijo smo uporabili geostatistično metodo residual kriging (Cressie, 1999), kjer so kot pojasnjevalne spremenljivke nastopale zgoraj našteje geografske spremenljivke. Upoštevali smo tudi anizotropnost prostorske povezanosti padavin. Podatki za padavinsko karto s povprečnimi količinami padavin po hidrometričnih zaledjih so pridobljeni s prekrivanjem vektorskega in rastrskega sloja v Idrisiju in je za obravnavano testno območje Savinje prikazan na sliki 2.



Slika 2: Povprečna letna potencialna evapotranspiracija po hidrometričnih zaledjih v mm v obdobju 1971–2000.

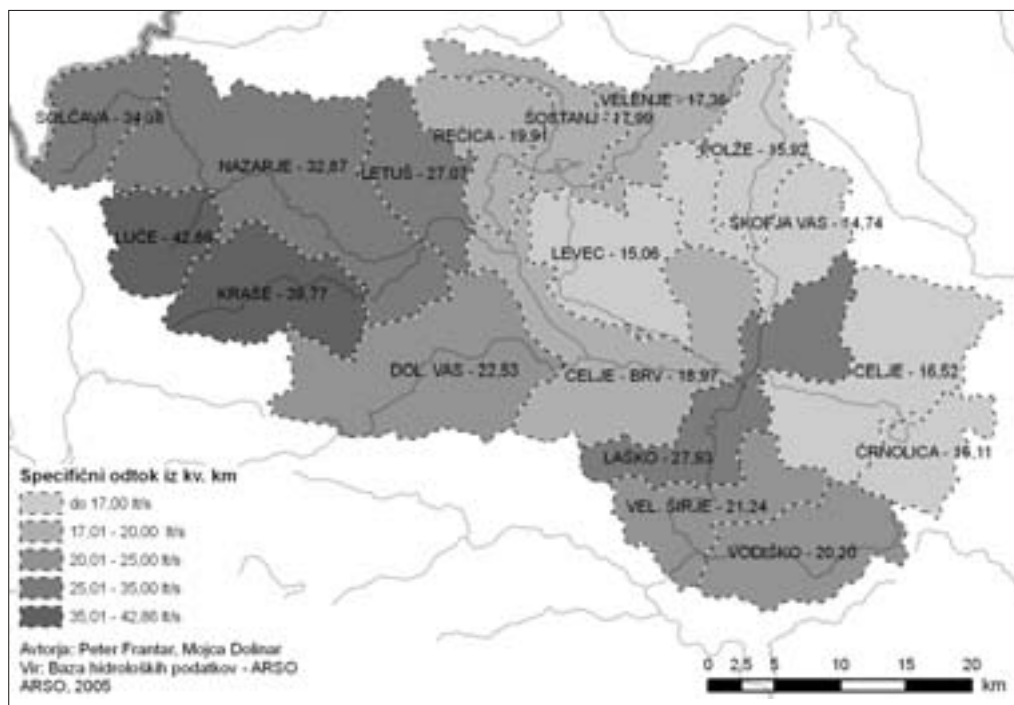
## 4 Evapotranspiracija

Dejanska evaporacija se v Sloveniji meri le v nekaj točkah kar onemogoča izračun prostorske porazdelitve dejanske evaporacije. Za namen vodne bilance smo tako v prvi fazi izračunali potencialno evapotranspiracijo (ETP) po Penman-Montiethovi metodi (Montieth, 1965). To je ocena oziroma zgornja meja količine vode, ki v danih vremenskih razmerah lahko izhlapi brez ozira na pokrovnost tal in druge vplivne dejavnike. Za oceno smo vzeli enotno referenčno podlago in sicer travo. ETP smo izračunali v 48 točkah, kjer smo imeli v obravnavanem obdobju na voljo neprekinjene meritve temperature in vetra. Prostorsko porazdelitev pa smo izračunali z regresijsko metodo v programu GRASS, kjer smo upoštevali odvisnost ETP od nadmorske višine z uporabo rasterskega sloja DMV 100.

## 5 Odtoki

Odtoki so praviloma najzanesljivejši člen vodne bilance. Na dobrih vodomernih postajah namreč vsa voda določenega vodozbirnega območja odteče skozi en sam profil. Zgodi pa se lahko, da določena količina vode odteka mimo postaje preko črpališč ali s podzemnimi pretakanji, hkrati so lahko vprašljivi tudi sami merski profili.

Pri izračunavanju smo upoštevali pretoke vodomernih postaj na vtokih in iztokih iz posamezne hidrometričnega zaledja. Popolne nize podatkov o pretokih imajo naslednje vodomerne postaje: Savinja – Solčava, Savinja – Nazarje, Dreta – Kraše, Bolska – Dolenja vas, Ložnica – Levec, Voglajna – Celje in Gračnica – Vodiško. Preostalih 11 postaj ima nepopolne nize pretočnih podatkov, katerih manj-



Slika 3: Specifični odtok po hidrometričnih zaledjih v lt/s na kvadratni kilometer v obdobju 1971–2000.

kajoče podatke smo dopolnili s statistično metodo korelacije. Obravnavane postaje smo v programu Statistica primerjali s podobnimi postajami ter dobili tabelo s Pearsonovim korelacijskim koeficientom, stopnjo zaupanja (p-vrednost), ter numerusom podatkov na podlagi katerih je bil izračunan korelacijski koeficient. Za manjkajoče obdobje podatkov smo glede na dobljen koeficient korelacije, stopnjo zaupanja in numerus, izbrali ustrezno korelacijsko vodomerno postajo ter ji določili premico, na podlagi katere smo potem popolnili manjkajoče podatke v tabelarni obliki v programu Excel.

Tabela je bila v Mapinfu povezana na osnovni sloj hidrometričnih zaledij, kjer smo tudi izračunali specifične odtoke. Specifični odtok nam pove koliko vode odteče v določenem časovnem intervalu na enoto površine, v tem primeru litrov na sekundo z km<sup>2</sup>. Bistvena značilnost specifičnega odtoka v normalnih situacijah (v Sloveniji) je, da je največji v zgornjem toku in postopoma pada proti spodnjemu toku (Kolbezen et al., 1998, 29). Večja odstopanja in izstopanja posameznega območja (v našem primeru poligona) od te sheme ter od sosednjih hidrometričnih zaledij kažejo na možno napako, ki pa jo je potrebno pojasniti z natančnejšimi raziskavami, kjer pa lahko že z uporabo večih GIS slojev (geologije, reliefa, pokrovnosti, ipd) marsikdaj predvidimo vzrok za nastalo situacijo, ki olajša strokovno presojo za rešitev takega problema.

## 6 Elementi vodne bilance

Uporaba geoinformacijskih orodij omogoča prenos različnih virov in tipov podatkov na isti imenovalec. V našem primeru smo s pomočjo orodij: ArcView, Idrisi, Grass in Mapinfo združili tabelarne,

*Preglednica 2: Posamezni elementi vodne bilance po hidrometričnih zaledjih ter skupaj za vse porečje: padavine, izhlapevanje in odtok v mm, specifični odtok HQ v lt/s, odtočni količnik in bilančna napaka dP v odstotkih.*

postaja	vodotok	pad. (mm)	ETP (mm)	Q (mm)	HQ1 (lt/s)	KH (%)	dP (%)	dP2
Solčava I	Savinja	1900	581	1084	34,4	57	12	8
Nazarje	Savinja	1647	645	1037	32,9	63	-2	-5
Letuš I	Savinja	1458	676	854	27,1	59	-5	-8
Celje II	Savinja	1307	742	598	19,0	46	-3	-1
Laško I	Savinja	1274	739	881	27,9	69	-27	-27
V. Sirje I	Savinja	1305	725	670	21,2	51	-7	-6
Luče	Lučnica	1874	592	1352	42,9	72	-4	-8
Kraše	Dreta	1641	668	1254	39,8	76	-17	-20
Velenje	Paka	1360	669	548	17,4	40	10	7
Šoštanj	Paka	1329	703	567	18,0	43	4	3
Rečica	Paka	1362	712	628	19,9	46	2	0
Dol. vas II	Bolska	1455	706	710	22,5	49	3	1
Levec I	Ložnica	1284	742	475	15,1	37	5	6
Črnlolica	Voglajna	1245	734	508	16,1	41	0	3
Celje II	Voglajna	1253	740	521	16,5	42	-1	1
Polže	Hudinja	1362	668	502	15,9	37	14	11
Škof. vas	Hudinja	1284	713	465	14,7	36	8	8
Vodiško I	Gračnica	1306	710	637	20,2	49	-3	-4
Savinja	porečje	1422	697	746	23,7	52	-1	

vektorske in rasterske podatke na isto osnovo – na hidrometrična zaledja. Pregled po hidrometričnih zaledjih nam daje naslednjo prostorsko sliko:

V porečju Savinje se količina padavin zmanjšuje od zahoda proti vzhodu. V obdobju 1971–2000 je v najzahodnejših predelih porečja padlo v povprečju preko 1800 mm padavin v posameznem hidrometričnem zaledju, v jugovzhodnem predelu porečja pa okrog 1200 mm. Največ padavin pade na vrhovih Planjave in Ojstrice, kjer imamo letno v povprečju 2250 mm padavin, najmanj, 1200 mm, pa na območju Celja. Malce večjo letno količino padavin imajo na severovzhodu porečja povirni predeli na Pohorju, ki pa ne presežejo 1500 mm letno.

Pri izhlapevanju je slika obrnjena (slika 3). V najvišjih predelih porečja je izhlapevanje najmanjše in ne preseže niti 400 mm letno. V zaledju VP Solčava in VP Luče je v povprečju pod 600 mm letno. Od tod proti vzhodu in še posebej proti jugu izhlapevanje narašča. Največje je v osrednjem delu Celjske kotline, kjer v povprečju na hidrometrično zaledje doseže skoraj 750 mm letno, z najvišjimi vrednostmi do okrog 780 mm letno. Na povirnih območjih na Pohorju se izhlapevanje zmanjša na enoto porečja na okrog 670 mm letno.

Specifični odtoki kažejo na klasično zmanjševanje od visokogorskih do srednjegorskih predelov Savinje, kar se v grobem dobro pokriva s padavinami in izhlapevanjem. Največji specifični odtoki so na območju Kamniško Savinjskih alp tudi preko 40 lt/s iz km<sup>2</sup>. Količina odtoka iz km<sup>2</sup> pada proti nižjeležečim območjem in proti vzhodu. Najmanjše je na območju Celjske kotline z nekaj nad 15 lt/s iz km<sup>2</sup>. Povirna območja Pohorja zaradi majhnega deleža tu ne vplivajo bistveno na specifične odtoke posameznih hidrometričnih zaledij. Za odtočne količnike velja podobno, saj so najvišji v goratem predelu, najnižji pa v ravninskih predelih porečja Savinje, na kar zelo vpliva tudi strmina reliefa. V goratem predelu odteče tako preko 60 % vseh padavin preko površinskih vodotokov, v ravninskih pa manj kot 40 %.

## 7 Sklep

Vsebinsko lahko ugotovimo, da so elementi vodne bilance v porečju Savinje za obdobje 1971–2000 dokaj usklajeni, kar potrjuje tudi pravilno uporabo geoinformacijske tehnologije.

Pri rezultatih odtoka vidimo, da so in bodo potrebne dodatne obdelave podatkov na območjih izstopajočih vodomernih postaj po specifičnem odtoku. Za območje Slovenije se je pokazala potreba po »modulu«, ki bo omogočil avtomatsko računanje odtoka posameznega hidrometričnega zaledja, saj je v Sloveniji število zaledij neprimerno večje in je zato nemogoče ročno računati odtoke, kot smo to izvedli v tem poskusu.

V primerjavi z referenčnim obdobjem 1961–1990 je bilo v porečju Savinje padavin za okrog 10 % manj. V območju zgornjega toka Savinje je padlo za okrog 5 % manj padavin, na območju Celjske kotline pa za skoraj 15 % manj. Kar 20 % manj pa je bilo padavin v zgornjem toku Voglajne. Na območju Velenjske kotline je bilo padavin enako, v porečju Hudinje pa je bilo padavin za dobrih 5 % več. Na območju celotne Savinje je v obdobju 1971–2000 padlo povprečno 1422 mm padavin letno, od česar je izhlapelo skoraj 700 mm in odteklo skoraj 750 mm. Tudi odtoki so bili v tem obdobju manjši, v povprečju za okoli 10 %. Na vseh postajah je bilo odtoka manj, razen v Rečici na Paki ter v Laškem na Savinji. Skupni odtočni količnik porečja Savinje obdobja 1971–2000 je nad 50 %, bilančna napaka za celo porečje pa samo 1 %. Vse to kaže na to, da je na regionalnem nivoju vodno bilančni izračun uspel in da so napake v hidrometričnih zaledjih posledica lokalnih, mikro in mezo hidrogeografskih dejavnikov.

Vsebinsko bo potrebno raziskati vzroke za veliko bilančno napako dP na nekaterih postajah. Potrebna bi bila tudi manjša korekcija korigiranih padavin, več poudarka pa bo potrebno v nadaljnjem delu dati izračunu dejanskega izhlapevanjana na kar kaže tudi testni poizkus korekcije, ki pa v prvi primerjavi s prvo različico še ni dal »strokovno sprejemljivejših« rezultatov, zato je v preglednici samo bilančna napaka (dP2) (Kurnik, 2006).

Enostaven izračun vodne bilance za določeno območje je tudi z uporabo geoinformacijske tehnologije zapleteno multidisciplinarno področje. Uporaba geoinformacijske tehnologije omogoča lažje in hitrejša analiza, vendar brez temeljitih vsebinskih premislekov in poglobljanj lahko privede do vprašljivih rezultatov. Uporaba geoinformacijskih orodij nam bo v prihodnosti omogočala lažje in hitrejša analiza vodnobilančnih elementov, predvsem pa smo s tem postavili temelje za podrobnejše raziskave dejavnikov, ki vplivajo na kroženje vode. S končnim pregledom smo tako potrdili pravilnost uporabljenih metod ter nujnost uporabe geoinformacijske tehnologije za analize vodnih bilanc.

## 8 Viri in literatura

- ARSO – Agencija RS za okolje, 2005. Baza razvodnic. Ljubljana.
- ARSO – Agencija RS za okolje, 2005. Kataster vodomernih postaj. Ljubljana.
- ARSO – Agencija RS za okolje, 2005. Sistem za shranjevanje in obdelavo hidroloških podatkov. Ljubljana.
- ARSO – Agencija RS za okolje, 2005. Sistem za shranjevanje meteoroloških podatkov – METKON. Ljubljana.
- Cresie, N. A. C., 1993: *Statistic for Spatial Data*. John Wiley & Sons, New York.
- Forland, E. J., Allerup, P., Dahltröm, B., Elomaa, E., Jonsson, T., Madsen, H., Perälä, J., Rissanen, P., Vedin, H., Vejen, F. 1996: *Manual for Operational Correction of Nordic Precipitation Data*. Norwegian Meteorological Institute, Oslo.
- Frantar, P. 2003: Vrednotenje ustreznosti mreže vodomernih postaj na površinskih vodotokih v Sloveniji. *Geografski vestnik* 75. Ljubljana.
- Frantar, P., Dolinar, M. 2005: Pregled elementov vodne bilance za območje Savinje v obdobju 1971–2000. 16. Mišičev vodarski dan 2005, Maribor.
- Kolbezen, M., Pristov, J., 1998: *Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije*. Ministrstvo za okolje in prostor, Hidrometeorološki zavod RS. Ljubljana.
- Kurnik, B. 2006: *Testni raster korigiranega izhlapevanja*. Agencija RS za okolje, Ljubljana.
- Montieth, J. L. 1965: *Evaporation and Environment*. Symp. Soc. Exp. Biol., 19, Cambridge, UK.
- Nespor, V., Sevruk, B. 1999: Estimation of wind-induced error of rainfall gauge measurements using a numerical simulation. *J. Atmos. Ocean. Techn.* Southampton.

## ANALIZA ODVISNOSTI INDEKSA BAZNEGA TOKA OD LASTNOSTI POVODJA

**dr. Mitja Janža**

Geološki zavod Slovenije

Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana

mitja.janza@geo-zs.si

UDK: 556.1:659.2:004

### IZVLEČEK

#### **Analiza odvisnosti indeksa baznega toka od lastnosti povodja**

Indeks baznega toka, ki je definiran kot razmerje med baznim tokom in celotnim odtokom s povodja je pomemben podatek za oceno kakovostnega stanja podzemnih in površinskih voda. V prispevku je opisana določitev empiričnega odnosa med indeksom baznega toka in hidrološkimi, geološkimi, geomorfološkimi in vegetacijskimi lastnostmi povodij. Odnos je bil analiziran na petindvajsetih povodjih in modeliran z multiplo linearno regresijo. Preizkušena sta bila dva pristopa modeliranja. Prvi temelji na skupnem modelu vseh povodij, drugi pa na razdelitvi povodij na dve skupini (glede na prevladujoči tip poroznosti kamnin) in izdelavi ločenih modelov. Rezultati vrednotenja z navzkrižnim preverjanjem so pokazali večjo zanesljivost napovedi modelov v primeru ločitve povodij.

### KLJUČNE BESEDE

indeks baznega toka, multipla regresija, GIS

### ABSTRACT

#### **Analysis of relationship between base flow index and catchment properties**

Base flow index (defined as the ratio of base flow to total flow) is important data for assessment of quality status of ground and surface water. In this paper derivation of an empirical relationship between base flow index and hydrological, geological, meteorological and vegetation properties of catchments is described. Relationship was analyzed on twenty five catchments and modelled with multiple linear regression. Two different modelling approaches were tested. A first one is based on the common model, which includes all catchments. A second one separates catchments into two groups (according to the prevailing rock type porosity) which are modelled separately. Results of the cross-validation showed better performance of the models of separated catchments.

### KEYWORDS

base flow index, multiple regression, GIS



## 1 Uvod

Voda, ki pade na zemeljsko površje v obliki padavin in ne izhlapi nazaj v atmosfero ter se ne uskladišči, odteče proti vodotoku (potoku ali reki) na različne načine. V grobem ločimo tri vrste odtoka. Površinski odtok je del celotnega odtoka, ki odteče po površini in hitro doseže vodotok. Počasnejši del odtoka, ki se pretaka do vodotoka lateralno skozi zgornji del tal je podpovršinski odtok. Najkasneje doseže vodotok padavinska voda, ki pronica globlje pod površino in odteče v obliki baznega ali osnovnega toka. Ta je sestavljen iz prispevka podzemnega toka in zapoznelega podpovršinskega toka in tvori večino celotnega odtoka v sušnih obdobjih.

Poznavanje deležev opisanih komponent odtoka je pomembno pri oceni kakovostnega stanja voda, saj je večina parametrov s katerimi ga ocenjujemo močno odvisna od poti oziroma načina prenosa onesnaženja od mesta vnosa do vodotoka (Haberlandt et al. 2001, 36). Primer je vnos nitratov, ki so posledica kmetijske dejavnosti. Ko je delež površinskega odtoka na obdelovalnih območjih večji, je delež prenosa presežkov nitratov v podzemno vodo manjši in posledično večji v površinsko vodo.

V praksi pogosto ne razpolagamo z merskimi podatki, ki bi omogočili oceno komponent odtoka na celotnem obravnavanem območju. V teh primerih temelji ocena značilnosti odtoka na ekstrapolaciji ali prenosu informacij iz povodij opremljenih z merskimi instrumenti na povodja brez meritev. Opisani proces se imenuje regionalizacija in se najpogosteje izvede proces z določitvijo empiričnega odnosa med značilnostmi odtoka iz povodja in njegovimi značilnostmi.

Namen pričujoče študije je bil ugotoviti odnos med indeksom baznega toka (ki podaja delež baznega toka v celotnem odtoku) in značilnostmi povodij. Odnos je bil določen z metodo multiple linerne regresije z obdelavo petindvajsetih povodij. Možnost regionalizacije ugotovljenih odnosov z različnimi modeli je bila vrednotena z metodo navzkrižnega preverjanja.

## 2 Podatki

### 2.1 Obravnavano območje

V študiji je bilo obravnavanih 25 povodij (Preglednica 1), ki skupno pokrivajo 2078 km<sup>2</sup>, kar je okrog 10 % površine celotne Slovenije. Prostorsko so porazdeljena po celotnem ozemlju Slovenije (Slika 1)

*Preglednica 1: Obravnavana povodja z oznakami.*

oznaka povodja	vodomerna postaja	vodotok	oznaka povodja	vodomerna postaja	vodotok
p1	Polana I	Ledava	p13	Vodiško I	Gračnica
p2	Martjanci	Martjanski potok	p14	Zagorje I	Medija
p3	Neblo	Reka	p15	Žebnik	Sopota
p4	Hodoš	Velika Krka	p16	Škocjan	Radulja
p5	Dražas vas	Oplotnica	p17	Kraše	Dreta
p6	Ruta	Radoljna	p18	Tolmin	Tolminka
p7	Črnelica	Vogljajna	p19	Luče	Lučnica
p8	Zreče	Dravinja	p20	Podhom	Radovna
p9	Dovže I	Mislinja	p21	Cerknica I	Cerkniščica
p10	Mali otok	Nanoščica	p22	Sveti Janez	Sava Bohinjka
p11	Rečica	Paka	p23	Vipava I	Vipava
p12	Levec I	Ložnica	p24	Žiri II	Poljanska Sora
			p25	Ajdovščina I	Hubelj



Slika 1: Območja obravnavanih povodij z morskimi mesti pretokov.

in pokrivajo območja, ki se po svojih lastnostih (geoloških, geomorfoloških, hidroloških, podnebnih ...) medsebojno precej razlikujejo.

## 2.2 Lastnosti povodij

Lastnosti povodij so bile opredeljene s povprečnimi vrednostmi štirinajstih parametrov (Preglednica 2 in Preglednica 3). V primeru povodja Ledave je bil, zaradi omejene razpoložljivosti podatkov, obravnavan le del povodja na območju Slovenije, ki znaša 81 % celotnega povodja. V analizah je bilo privzeto, da lastnosti tega dela povodja predstavljajo lastnosti celotnega povodja.

Površina povodij je bila določena na osnovi vektorskega informacijskega sloja. Prav tako gostota drenažne mreže, ki je definirana kot razmerje med dolžino hidrografske mreže in površino določene-ga povodja. Vrednosti ostalih parametrov so bile določene kot povprečne vrednosti celic pripadajočega rastrskega sloja na območju povodij.

Indeks IDPR (ang. Index of Development and Persistence of the Networks) podaja razmerje med teoretično določeno drenažno mrežo, ki se izračuna na osnovi digitalnega modela višin in dejansko drenažno mrežo. S pomočjo vrednosti indeksa IDPR lahko ločimo območja, kjer padavinska voda odteka predvsem površinsko in območja, kjer se večinoma infiltrira. Vrednosti so omejene na razpon med 0 in 4, vendar le redko presežejo vrednost 2. Nižje vrednosti indeksa nakazujejo večjo gostoto teoretične rečne mreže v primerjavi z dejansko in posledično višjo infiltracijo (ter obratno).

Višina evapotranspiracije je bila izračunana (Prestor et al. 2004) na osnovi prostorske porazdelitve temperatur (Cegnar 1995) in višine padavin z uporabo Turcove (1954) enačbe.

Površinski deleži kamnin z različnimi tipi poroznosti, učinkovita poroznost in koeficient prepustnosti kamnin, ki sestavljajo posamezno povodje so bili določeni na osnovi Hidrogeološke karte Slovenije (Prestor et al., 2004) in njenih izpeljank.

Površinski deleži obdelovalnih in z gozdom poraščenih površin so bili določeni na osnovi karte pokrovnosti Corine (Hočevar et al. 2001).

*Preglednica 2: Parametri lastnosti povodij z viri podatkov.*

Lastnosti povodij	Oznaka	enota	Vir podatkov
Površina povodij	A	(km <sup>2</sup> )	FGG-KSH 1997
Nadmorska višina	NMV	(m)	DMV – digitalni model višin (ZRC SAZU, in Mobitel 2000)
Naklon	N	(°)	Izpeljanka DMV
Indeks IDPR	IDPR	(–)	Izpeljanka DMV in hidrografske mreže (Prestor et al. 2004)
Gostota drenažne mreže	D	(m/km <sup>2</sup> )	Izpeljanka hidrografske mreže (ARCADIA 1997)
Višina padavin	P	(mm/leto)	Zupančič, B. 1995
Višina evapotranspiracije	ETR	(mm/leto)	Prestor et al. 2004
Delež kamnin z medzrnsko poroznostjo	MP	(–)	Prestor et al. 2004
Delež kamnin z razpoklinsko poroznostjo	RP	(–)	Prestor et al. 2004
Delež kamnin s kraško-razpoklinsko poroznostjo	KP	(–)	Prestor et al. 2004
Učinkovita poroznost	ME	(–)	Prestor et al. 2004
Koeficient prepustnosti	K	(cm/dan)	Prestor et al. 2004
Delež gozdnih površin	G	(–)	Corine (Hočevar et al. 2001)
Delež obdelovalnih površin	O	(–)	Corine (Hočevar et al. 2001)

### 2.3 Pretoki na vodomernih postajah

V študiji so bile uporabljene meritve dnevnih pretokov na vodomernih postajah – merskih mestih (Slika 1 in Preglednica 1). Podatki obsegajo nize zveznih meritev od 1. 1. 1990 do 31. 12. 2000 in so last Agencije Republike Slovenije za okolje.

## 3 Metodologija

Za določitev odnosa med indeksom baznega toka in parametri, ki opisujejo lastnosti povodij je bila uporabljena multipla linearna regresija. Najprej je bil izdelan skupni model odvisnosti, ki vključuje vsa povodja. Nato so bila povodja, glede na delež kamnin z različnim tipom poroznosti, razdeljena na dve skupini, za kateri sta bila izdelana ločena modela.

### 3.1 Razdelitev hidrogramov

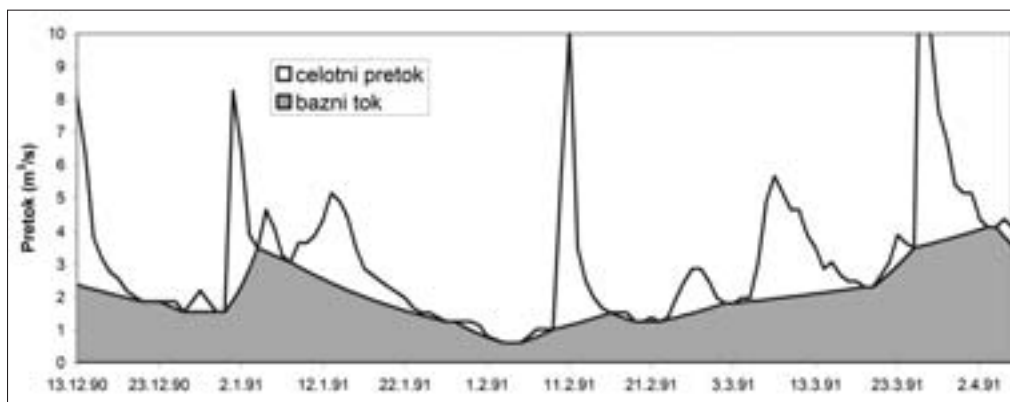
Najpogosteje uporabljena kvantitativna ocena baznega toka je indeks baznega toka (BFI), ki podaja prostorninski delež baznega v celotnem odtoku:

$$BFI = \frac{\sum_{t=1}^{n_d} q_b}{\sum_{t=1}^{n_d} q_c}$$

$q_b$  bazni tok,  
 $q_c$  celotni odtok,  
 $q_c$  celotni odtok,  
 $n_d$  celotno število meritev v obravnavanem obdobju.

Preglednica 3: Povprečne vrednosti parametrov povodij.

Oznaka povodja	BFI	A	NMV	N	IDPR	D	P	ETR	MP	RP	KP	ME	K	G	O
p1	0,473	175	270	6,04	0,792	1673	850	456	0,95	0,05	0,00	0,105	224,252	0,31	0,68
p2	0,533	30	274	5,84	0,910	1622	850	456	1,00	0,00	0,00	0,118	135,616	0,37	0,62
p3	0,375	32	259	15,49	0,679	2230	1781	562	0,10	0,90	0,00	0,016	0,543	0,52	0,46
p4	0,496	104	300	5,68	0,847	1667	811	449	1,00	0,00	0,00	0,113	6,130	0,43	0,56
p5	0,648	88	745	11,12	1,068	1997	1268	453	0,35	0,65	0,00	0,031	0,778	0,62	0,36
p6	0,680	74	865	17,16	1,211	2503	1390	446	0,05	0,94	0,01	0,005	0,090	0,82	0,15
p7	0,556	51	388	13,94	0,847	2480	1135	484	0,61	0,37	0,02	0,038	0,234	0,39	0,59
p8	0,771	41	886	18,45	1,033	1587	1327	445	0,01	0,95	0,04	0,002	0,039	0,68	0,30
p9	0,744	73	1055	18,87	1,004	1956	1365	427	0,10	0,85	0,05	0,008	0,135	0,80	0,14
p10	0,328	46	573	6,57	0,568	1836	1593	502	0,13	0,81	0,06	0,021	0,677	0,27	0,69
p11	0,566	78	523	14,87	0,784	2319	1263	476	0,31	0,43	0,26	0,024	23,183	0,55	0,42
p12	0,402	107	377	10,58	0,672	1848	1208	487	0,45	0,26	0,29	0,029	19,853	0,48	0,49
p13	0,549	96	513	16,26	0,916	1940	1214	487	0,39	0,20	0,41	0,012	0,118	0,51	0,49
p14	0,679	102	525	19,56	0,823	1656	1295	487	0,20	0,31	0,50	0,009	0,281	0,63	0,34
p15	0,705	48	648	17,96	0,823	1480	1275	475	0,01	0,47	0,52	0,006	1,329	0,69	0,31
p16	0,504	111	345	12,70	1,021	1968	1150	485	0,10	0,36	0,54	0,017	0,306	0,52	0,48
p17	0,566	101	771	18,88	0,926	1578	1553	463	0,11	0,33	0,56	0,014	0,506	0,71	0,26
p18	0,677	76	1183	30,28	0,415	1051	2940	436	0,17	0,13	0,70	0,021	10,913	0,51	0,06
p19	0,474	55	1148	23,58	0,696	1061	1782	423	0,04	0,24	0,71	0,011	0,621	0,72	0,09
p20	0,614	168	1219	21,24	0,303	498	1991	408	0,26	0,01	0,73	0,028	32,444	0,76	0,06
p21	0,551	51	716	11,46	0,857	2284	1619	460	0,04	0,16	0,80	0,008	0,199	0,71	0,27
p22	0,558	94	1468	22,10	0,184	329	3074	394	0,15	0,00	0,84	0,017	0,681	0,39	0,01
p23	0,534	142	801	14,35	0,180	265	1889	478	0,01	0,10	0,89	0,010	0,671	0,86	0,08
p24	0,358	52	678	14,95	0,784	1548	2064	483	0,00	0,08	0,92	0,002	0,154	0,65	0,34
p25	0,548	85	954	15,25	0,112	20	2520	470	0,01	0,01	0,98	0,007	0,312	0,84	0,13
sred. vred.	0,555	83	699	15,33	0,738	1576	1568	464	0,26	0,34	0,39	0,027	18,403	0,59	0,34
min.	0,328	30	259	5,68	0,112	20	811	394	0,00	0,00	0,00	0,002	0,039	0,27	0,01
maks.	0,771	175	1468	30,28	1,211	2503	3074	562	1,00	0,95	0,98	0,118	224,252	0,86	0,69
stand. odklon	0,12	38,66	337,05	5,94	0,29	687,40	590,63	33,75	0,31	0,33	0,36	0,03	50,97	0,17	0,21



Slika 2: Primer uporabljene metode razdelitve hidrograma (povodje Drete).

Povprečne vrednosti indeksa baznega toka v obravnavanem obdobju za posamezno povodje so bile določene z razdelitvijo – separacijo hidrogramov. Ločitev hidrogramov je bila opravljena z metodo lokalnega minimuma s programskim orodjem HYSEP 2.2 (Soto & Crouse 1997), ki omogoča samodejno izvedbo metode. Algoritem temelji na sistematičnem iskanju in povezovanju lokalnih minimumov hidrograma (Slika 2). Tako določena črta (niz daljic) ločuje bazni tok od preostalega odtoka.

### 3.2 Multipla linearna regresija

V študiji je bila uporabljena metoda multiple regresije, ki postopoma vključuje neodvisne spremenljivke z značilnim vplivom na odvisno spremenljivko (ang. forward stepwise regression). Metoda korakoma dodaja neodvisne spremenljivke dokler ni dosežen izbran kriterij. V vsakem naslednjem koraku je izbrana neodvisna spremenljivka, ki največ prispeva k zmanjšanju vsote kvadratov slučajnih vplivov modela.

Večja splošna uporabnost (robustnost) modelov je bila zagotovljena z logičnim omejevanjem števila korakov vključevanja novih spremenljivk, s čimer se je izognilo pretreneriranosti modelov.

Pogosta težava pri prilagajanju regresijskih modelov v hidrologiji so posamezne ekstremne vrednosti – zunanje točke (ang. outliers). Te lahko delujejo kot vzvodi in prisilijo model njihovemu prilaganju, kar poveča napake pri ostalih točkah (Laaha & Bloeschl 2005, 7). Z njihovo odstranitvijo lahko izboljšamo prilaganje modela podatkom, ni pa nujno, da se s tem poveča tudi zanesljivost napovedi modela. Iz navedenih razlogov je bil v študiji uporabljen iterativni postopek s preverjanjem rezultatov modela. V primeru ekstremnih vrednosti ostankov in velikih vrednosti Cookovih razdalj so bila odstranjena določena povodja iz nabora podatkov. Nato je bil nov model prilagojen na preostale podatke. Zanesljivost novega – končnega modela je bila vrednotena z vsemi podatki, vključno s povodji, ki so bila odstranjena zaradi prej navedenih razlogov.

Pred dokončno potrditvijo modela je bila grafično preverjena odvisnost ostankov (napak) od napovedane vrednosti indeksa baznega toka. Če so bile variance ostankov primerljive na celotnem razponu odvisne spremenljivke, je bil model dokončno potrjen.

#### 3.2.1 Transformacija podatkov

Normalna porazdelitev vhodnih podatkov je bila preverjena s testom Kolmogorov-Smirnov (Davis 1986, 102). Ugotovljeno je bilo, da neodvisne spremenljivke koeficient prepustnosti, učinkovitost poroznost in deleži kamnin z različnim tipom poroznosti niso normalno porazdeljene. Zato je bila izvedena logaritemska transformacija osnovnih vrednosti koeficienta prepustnosti in korenjenje osnovnih

vrednosti preostalih omenjenih spremenljivk, ki niso normalno porazdeljene. Po transformaciji so bile vse spremenljivke normalno porazdeljene na ravni zaupanja 5 %.

### 3.2.2 Razdelitev povodij na dve skupini

Z namenom preverjanja možnosti bolj zanesljive napovedi indeksa baznega toka so bila povodja ločena na dve skupini za kateri sta bila izdelana ločena regresijska modela. V prvo skupino so bila uvrščena povodja, v katerih je delež kamnin s kraško-razpoklinsko poroznostjo večji kot 50 %, v drugo skupino pa preostala povodja. Prvo skupino sestavljajo povodja z zaporednimi oznakami od  $p1$  do  $p13$ , v drugo skupino pa preostala z oznakami od  $p14$  do  $p25$ . Kriterij za ločitev povodij je bil subjektiven in temelji na dejstvu, da so procesi odtoka iz povodij, ki jih sestavljajo predvsem kamnine s kraško-razpoklinsko poroznostjo bistveno drugačni v primerjavi s tistimi na povodjih, ki jih sestavljajo večinoma kamnine z medzrnsko in razpoklinsko poroznostjo.

### 3.3 Vrednotenje modelov

Za oceno prilaganja modela opazovanim podatkom je bil uporabljen koeficient določenosti  $R^2$ , ki podaja delež variance odvisne spremenljivke, pojasnjen z neodvisnimi spremenljivkami. Uporabnost oziroma zanesljivost modela pri napovedi indeksa baznega toka za povodja, ki niso bila vključena v analizo, ni moč oceniti zgolj s prej omenjenimi statistikami, ki opisujejo stopnjo prilaganja modela opazovanim podatkom. Za te namene so primernejše metode, ki vrednotijo model na podatkih, ki niso bili vključeni v njegovo izdelavo.

V primeru, ko imamo veliko število podatkov, le-te razdelimo na dva dela. Prvi – učni del uporabimo za izdelavo modela, drugi del pa za njegovo vrednotenje. Ker je bilo v obravnavanem primeru relativno malo podatkov, je bila uporabljena metoda navzkrižnega preverjanja z izpuščanjem enega povodja (Laaha in Bloeschl 2005, 8), ki je sestavljena iz naslednjih korakov:

1. Odstranitev povodja  $i$  iz nabora podatkov;
2. Ocena regresijskih koeficientov enačbe, ki podaja odvisnost indeksa baznega toka od parametrov lastnosti povodij;
3. Uporaba regresijske enačbe iz prejšnje točke za oceno indeksa baznega toka za povodje  $i$ ;
4. Ponovitev korakov od 1 do 3 za vsa ( $n$ ) povodja;
5. Ocena napake napovedi.

Napaka napovedi ( $V_{CV}$ ) je bila ocenjena z izrazom:

$$V_{CV} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (BFI_{mi}^{-i} - BFI_i)^2$$

kjer je  $BFI_i$  opazovani indeks baznega toka za povodje  $i$ ,  $BFI_{mi}^{-i}$  pa napoved modela, ki je bil izdelan brez povodja  $i$ . Koeficient določenosti ( $R_{CV}^2$ ), ki temelji na navzkrižnem preverjanju je bil izračunan z izrazom:

$$R_{CV}^2 = \frac{Vq - V_{CV}}{Vq}$$

kjer je  $Vq$  prostorska varianca opazovanih indeksov baznega toka.

## 4 Rezultati

Regresijski model, izdelan z upoštevanjem vseh petindvajset povodij podaja odvisnost indeksa baznega toka od povprečnih vrednost naklona, padavin in nadmorske višine povodij (Preglednica 3).

Koeficient določenosti, ki podaja prileganje modela podatkom znaša 77 %. Precej nižji je koeficient določenosti, izračunan z navzkrižnim preverjanjem ( $R_{CV}^2 = 5$ ). Ta podaja zanesljivost napovedi indeksa baznega toka na povodjih, ki niso bila vključena v izdelavo modela. Model izdelan na povodjih, ki ga gradijo pretežno kamnine s medzrnsko in razpoklinsko poroznostjo ( $p1$  do  $p13$ ) ima višje vrednosti koeficientov določenosti ( $R^2 = 92\%$  in  $R_{CV}^2 = 65$ ). Bistveno višja je vrednost koeficienta določenosti, izračunanega z navzkrižnim preverjanjem. V modelu sta neodvisni spremenljivki indeks IDPR in nadmorska višina povodja. Model na povodjih od  $p14$  do  $p25$ , ki jih gradijo pretežno kamnine s kraško-razpoklinsko poroznostjo, določa odvisnost indeksa baznega toka od korena povprečne vrednosti koeficienta prepustnosti, indeksa IDPR in gostote drenažne mreže. Vrednosti statistik vrednotenja modela so nekoliko nižje kot v prej obravnavanem modelu ( $R^2 = 86\%$  in  $R_{CV}^2 = 51$ ), vendar bistveno višje od modela, ki vključuje vsa povodja.

Preglednica 4: Regresijski modeli.

	Model	$R^2$ (%)	$R_{CV}^2$ (%)
Skupni model	$BFI = 0,48297 + 0,01363 \cdot N - 0,00021 \cdot P + 0,00030 \cdot NMV$	77	5
Povodja s pretežno medzrnsko in razpoklinsko poroznostjo	$BFI = -0,09450 + 0,64069 \cdot IDPR + 0,00018 \cdot NMV$	92	65
Povodja s pretežno kraško-razpoklinsko poroznostjo	$BFI = 1,83175 - 1,27828 \cdot \text{sqrt}KP - 0,64760 \cdot IDPR + 0,00017 \cdot D$	86	51

## 5 Sklep

V študiji je bila preučevana odvisnost baznega toka od lastnosti povodij, ki so bile opisane s štirinajstimi parametri. Primerjana sta bila dva pristopa izdelave regresijskih modelov. Prvi temelji na enotnem modelu, ki vključuje vseh petindvajset povodij. Drugi pristop pa loči povodja glede na delež kamnin s kraško-razpoklinsko poroznostjo in uporablja ločena modela na vsaki skupini povodij.

Rezultati primerjave kažejo na smiselnost delitev povodij na bolj homogene skupine. S tako delitvijo je bila znatno izboljšana zanesljivost napovedi regresijskih modelov, ocenjena z navzkrižnim preverjanjem. Ti rezultati potrjuje ugotovitve Laaha in Bloeschla (2005), ki sta dosegla izboljšanje zanesljivosti modela z delitvijo povodij v bolj homogene skupine s pomočjo statističnih metod.

Uporabljeni kriterij za delitev povodij (50 %) je bil določen izkustveno. Študija ne daje odgovora ali je to optimalen kriterij. Z obdelanim številom povodji bi bilo težko preveriti odgovor na zastavljeno vprašanje. Za bolj objektivni odgovor bi bila smiselna uporaba statističnih metod ločevanja povodij, ki pa bi zahtevala vključitev dodatnih povodij.

## 6 Viri in literatura

- ARCADIA, 1997: Hidrografska mreža. Ljubljana.
- Cegnar, T. 1995: Povprečna letna temperatura zraka obdobje: 1961–1990. V: Klimatografija Slovenije 1961–1990, Temperatura zraka. Mekinda-Majaron. Zemljevid, Hidrometeorološki zavod Slovenije. Ljubljana.

- Davis, C. J. 1986: *Statistics and Data Analysis in Geology*, Second Edition. John Wiley & Sons.
- FGG-KSH, 1997: Hidrografska mreža z razvodnicami in šifrantom. UL, FGG, Katedra za splošno hidrotehniko. Ljubljana.
- Haberlandt, U., Kloecking, B., Krysanova, Becker, A. 2001: Regionalisation of the base flow index from dynamically simulated flow components – a case study in the ElbeRiver Basin.
- Hočevar, M., Kobler, A., Vrščaj, B., Poljak, M., Kušar, B. 2001: Corine karta rabe tal in pokrovnosti Slovenije, Podprojekt: Fotointerpretacija in rezultati, zaključno poročilo. Gozdarski inštitut Slovenije. Ljubljana.
- Laaha, G., Bloeschl, G. 2005: A comparison of low flow regionalisation methods – catchment grouping. *Journal of Hydrology*.
- Prestor, J., Komac, M., Janža, M., Meglič, P., Bavec, M., Poljak, M. 2004: Nacionalna baza hidrogeoloških podatkov za opredelitev teles podzemne vode Republike Slovenije, Poročilo 2. faze – 2003. Geološki zavod Slovenije. Ljubljana.
- Sloto, R. A., Crouse, M. Y. 1997: *Hysep: A Computer Program for Streamflow Hydrograph Separation and Analysis*. U. S. Geological Survey. Lemoyne, Pennsylvania.
- Turc, L. 1954: Le bilan d'eaux des sols: relation entre les precipitations, l'evaporation et l'ecoulement. *Ann. Agron.* 5.
- ZRC SAZU, Mobitel 2000: InSAR DMV 25 (Digitalni model višin). ZRC SAZU. Ljubljana.
- Zupančič, B. 1995: Povprečna letna višina padavin obdobje: 1961–1990. V: *Klimatografija Slovenije 1961–1990, Padavine*. Zupančič, B. Hidrometeorološki zavod Slovenije. Ljubljana.





## SPREMINJANJE STRUGE REKE SAVE NA LJUBLJANSKEM POLJU

**Damijan Bec**

GISDATA d. o. o. Ljubljana

Šmartinska cesta 152, 1000 Ljubljana

damijan.bec@gisdata.si, geo5db@leeds.ac.uk

**dr. Tomaž Podobnikar**

Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU

Novi trg 2, 1000 Ljubljana

tp@zrc-sazu.si

UDK: 551.435.11:659.2:004(497.4)

IZVLEČEK

### **Spreminjanje struge reke Save na Ljubljanskem polju**

Spreminjanje rečne struge je dinamičen proces. Za prikaz dinamike spreminjanja so primerna orodja GIS (Geografski informacijski sistemi), ki omogočajo večslojno primerjavo linij rečnih strug po posameznih časovnih presekih. V prispevku sta na dejanskem primeru odseka reke Save med medenskim mostom in sotočjem treh rek prikazana spreminjanje struge reke Save na Ljubljanskem polju v zadnjih 230 letih ter primerjava uporabe »klasičnih« in sodobnih metod.

KLJUČNE BESEDE

georeferenciranje, vektorizacija, DMV, rečna struga, reka Sava, Ljubljansko polje, GIS

ABSTRACT

### **Changing of Sava's river channel on Ljubljana's field**

Changing of river riverbed is a dynamic process, and with the use of GIS (Geographical Information Systems) tools, this process can be clearly shown. This is achievable due to the 'nature' of GIS and its multi-layer approach, where the river channel patterns in different years can be easily compared with each other. In this article, the changing of Sava's river riverbed in the last 230 years is outlined. In this specific case of the river Sava, which is on Ljubljana's field, between the Medno's bridge and the confluence of three rivers, there is also the comparison between the 'classical' and modern methods approach.

KEYWORDS

georeferencing, vectorisation, DEM, river channel, river Sava, Ljubljana's field, GIS

## 1 Uvod

Spreminjanje rečnih strug je mogoče oceniti na veliko načinov – od »klasičnega« dela na terenu in iskanja ostankov suhih strug do sodobnejšega pristopa, kot je vizualna primerjava kart iz različnih obdobj. Današnji GIS-pristop ima pri ugotavljanju/ocenjevanju spreminjanja rečnih strug mnogo prednosti v primerjavi s klasičnim geografskim. Izmed mnogih naj izpostavimo predvsem možnost hitre izdelave vektorskih/rastrskih kart poteka strug in neposredno primerjavo strug v različnih časovnih presekih. Vendar pa ima današnji GIS-pristop pri obravnavanju tovrstne tematike tudi določene omejitve, ki so povezane predvsem z ročnim georeferenciranjem/rektificiranjem.

Linija rečne struge ne obsega samo bregov struge, ampak tudi robove (linije) morebitnih otokov oziroma prodišč. Pri ugotavljanju sprememb v liniji rečnih strug je treba izvesti naslednje faze:

1. digitalizacija,
2. georeferenciranje in
3. vektorizacija.

Pojem digitalizacija pomeni pretvorbo analogne grafične predloge v digitalno obliko, in sicer ročno z digitalnikom (digitalizacija v vektorsko strukturo) ali samodejno s skenerjem (digitalizacija v rastrsko strukturo) (Podobnikar 2001, 283). Georeferenciranje je postopek, pri katerem običajno umestimo karte, letalske ali satelitske posnetke, pa tudi digitalne fotografije, skice, načrte itd. (zapisanimi v lokalne koordinate) v enoten model geografskega prostora in hkrati v primerno izbran koordinatni sistem. Vektorizacija je pretvorba vsebine digitalne slike ali skenograma iz rastrske v vektorsko obliko, in sicer samodejno, polsamodejno (uporaba »črva«) ali ročno (zaslonska vektorizacija) (Podobnikar 2001, 302).

V prispevku nismo opisali postopka digitalizacije. Ker pri analizi georeferenciranja nismo uporabili drugih kot polinomne transformacije drugega in tretjega reda, so opisane samo te. Pri postopku georeferenciranja tudi nismo upoštevali značilnosti različnih projekcij uporabljenega kartografskega gradiva. Analizirali samo namreč relativno majhno območje, 25 kilometrski odsek reke Save. Na tako majhnem območju so morebitne popačitve zaradi napak pri izdelavi starih kart izrazito večje od morebitnih razlik med projekcijami. Opisali smo tudi potek vektorizacije podatkov naše študije na primeru. Poudarek je uporaba pridobljenih podatkov za analizo spreminjanja struge reke Save na Ljubljanskem polju.

## 2 Rektifikacija, georeferenciranje in vektorizacija

Bistvo georeferenciranja je umestitev (kartografskega) gradiva v določen koordinatni sistem, to je  $X$ ,  $Y$  (lahko tudi  $H$ ) sistem. Pri transformaciji se uporabljajo različni algoritmi za pripravo kartografskega gradiva\*. Uporaba določenih algoritmov je odvisna od različnih dejavnikov, med katerimi izpostavljamo dva:

1. *položajna natančnost* (analogne) karte in s tem posledično tudi večja verjetnost (večje/manjše) natančnosti digitalne karte in
2. *natančnost ali podrobnost skenirane karte*, oziroma napake, ki nastanejo zaradi skeniranja (Kvamme et al. 1997).

Rektifikacija je pretvorba iz enega geometričnega sistema v drugega z uporabo različnih geometričnih pretvorb. Del vsake rektifikacije je tudi georeferenciranje (ERDAS 2003).

Pri tem ločimo linearne transformacije od nelinearnih. V analizi smo zaradi neakovostnega vhodnega gradiva uporabljali samo nelinearne transformacije, oziroma t. i. polinomne transformacije drugega ali višjega reda. Pri tem moramo poudariti, da zaradi nepoznavanja parametrov transformacije, nismo

---

\* Opisani postopek seveda ne izključuje tudi možnosti uporabe drugega gradiva in koordinatnih sistemov, kot so npr. satelitske slike ali aerofotografije. Opis georeferenciranja, rektificiranja ter vektoriziranja temelji na uporabi ESRI-jeve programske opreme in terminologije.

izvedli neposredne pretvorbe iz enega v drugi koordinatni sistem, temveč smo georeferencirali skenogram kart s pomočjo polinomne transformacije.

Premik, vrtenje in sprememba merila so elementi vsake linearne pretvorbe. Za računanje sprememb merila se uporabi formulo  $X' = kxX$  in  $Y' = kyY$  ( $kx$  in  $ky$  sta konstanti pomanjšave/povečave glede na os  $x$  in  $y$ ). Premik (v smeri  $X$  ali  $Y$ ) se izračuna s formulo  $X' = X + dx$  in  $Y' = Y + dy$  ( $dx$  in  $dy$  sta premika po osi  $x$  in  $y$ ) (McCoy in Johnston 2001; Kvamme et al. 1997; Minami 2000), vrtenje pa s formulo  $X' = X \cos(j) + Y \sin(j)$  in za  $Y' = -X \sin(j) + Y \cos(j)$  (Kvamme et al. 1997).

Pri ročni vektorizaciji kart se pogosto srečujemo z dvema problemoma, ki še povečata končno napako pretvorbe. Največkrat je problem posledica kakovosti karte, ki je bila skenirana (zgubana, zmečkana, izbrisana, prelomljena karta ipd.), ali posledica nejasnih mej linije pri vektorizaciji linijskih objektov.

V primeru večjih nepravilnosti/napak v vhodnem gradivu moramo uporabiti nelinearne transformacije, kot na primer na triangulaciji osnovane metode ali polinomne transformacije drugega in višjega reda. Izbira reda polinomne transformacije je odvisna predvsem od kakovosti gradiva (v našem primeru kartografskega) in od števila uporabljenih kontrolnih točk. Pri tem velja splošno pravilo: višji red polinomne transformacije uporabimo, večje število kontrolnih točk potrebujemo. Za polinomno transformacijo prvega reda (linearna) vsaj tri, za transformacijo drugega reda šest in za transformacijo tretjega reda vsaj deset kontrolnih točk (ERDAS 2003).

Kontrolne točke morajo biti čimbolj enakomerno porazdeljene po karti, ki jo georeferenciramo. V primeru linearne pretvorbe moramo za kontrolne točke izbrati vsaj tri točke z znanimi koordinatami, ki ne ležijo na isti premici. V primeru nelinearnih transformacij je treba uporabiti večje število kontrolnih točk. V primeru, da je na karti izrisana koordinatna mreža, je lahko georeferenciranje enostavnejše, saj se za referenčne točke (običajno) vzame kar stičišča koordinatne mreže. Sicer pa je treba na karti določiti referenčne točke, običajno pridobljene iz georeferenciranih prostorskih podatkov, npr. iz Temeljnega topografskega načrta, ki ga smatramo kot točnega in natančnega. Za referenčne točke najpogosteje zajemamo antropogene objekte, npr. cestna križišča, spomenike in cerkve (ESRI 2005).

Natančnost polinomne transformacije, oziroma položaja transformiranih točk v primerjavi s kontrolnimi točkami ugotavljamo z metodo najmanjših kvadratov. Poskušamo dobiti najmanjšo možno vsoto kvadratov odstopanj glede na referenčne točke. Srednji kvadratni (RMS = root mean square) odklon izračunamo po naslednji formuli (Kvamme et al. 1997, 76; Podobnikar 2001):

Oznaka  $e$  pomeni razdaljo med transformirano točko na georeferencirani karti in kontrolno točko na referenčnem viru,  $n$  označuje število vhodnih točk. Opomniti velja, da majhen odklon RMS in uporaba višjega reda polinoma še ne določa samo natančnosti georeferenciranja, temveč do določene mere tudi natančnost transformacije (ERDAS 2003).

### 3 Georeferenciranje in vektorizacija starih kart na študijskem območju

Za ugotavljanje sprememb linije struge reke Save na Ljubljanskem polju smo imeli na razpolago sedem kart iz treh različnih obdobj – v različnih projekcijah ali le posameznih parametrih projekcij:

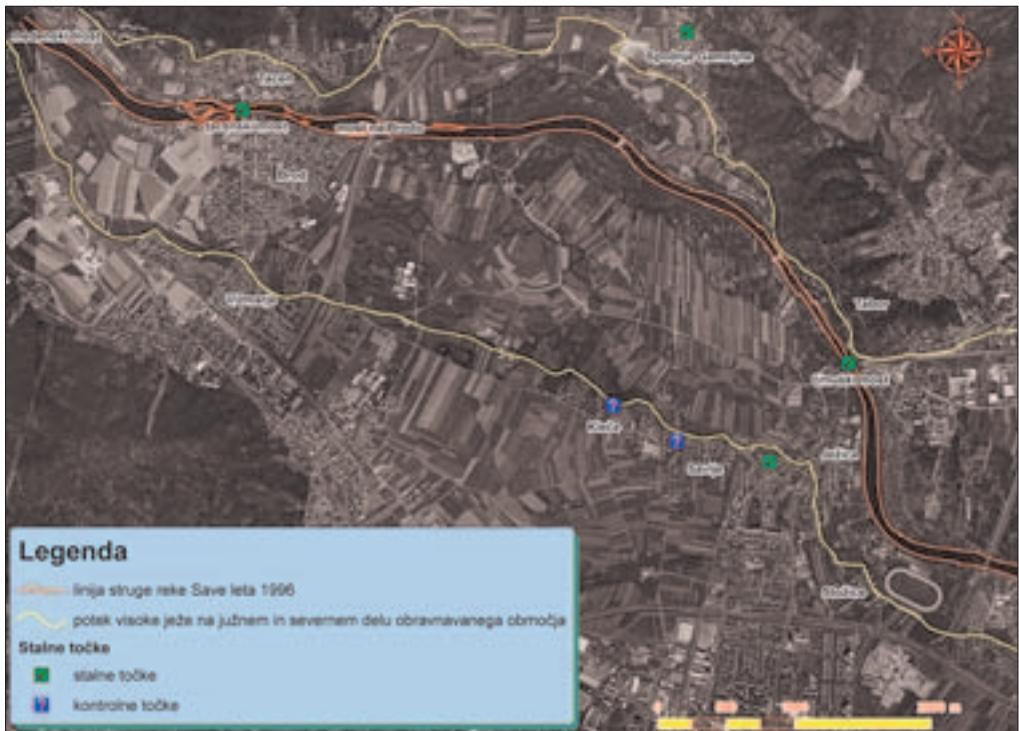
- Karto UKL (1883), karto L (1914), karto DHJ (1943), karto DTK50 (1956), karto TK25 (1974), karto, TTN5 (1985) ter DigTTN5 (1996).
- Karti UKL (1883) in L (1914) sta izdelani v merilu 1 : 75.000 in karte DHJ (1943), TK25 (1974) in TTN5 (1985) so v merilu 1 : 25.000 v Gauss-Krügerjevi projekciji, karta DTK50 (1956) pa je bila izdelana v merilu 1 : 50.000 in prav tako v Gauss-Krügerjevi projekciji.
- Na voljo smo imeli tudi stare Avstrijske vojaške karte prve izmer iz let 1763–1787 Cassini-Soldnerjevi ekvidistantni projekciji, vendar jih nismo uporabili.

Slednjih kart nismo uporabili, ker smo imeli premajhno število kontrolnih točk, ki so ležale na območju današnjih Črnuč, Kleč in Broda. Za dokaj natančno georeferenciranje bi morali uporabiti polinomno

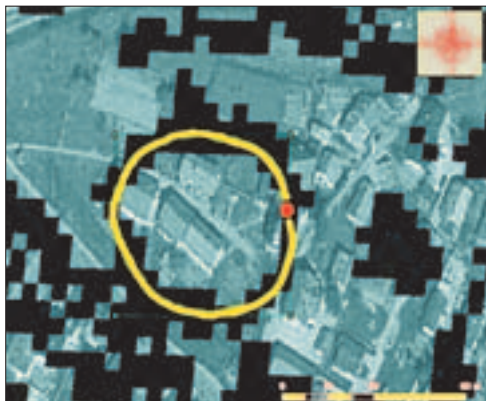
transformacijo tretjega reda, za kar bi potrebovali vsaj 10 točk z znanimi koordinatami, za relevantno primerjavo z drugimi georeferenciranimi kartami pa vsaj 20 do 30 točk z znanimi koordinatami (Bec 2005, 57).

Vse karte so bile georeferencirane z uporabo polinomne transformacije drugega reda, z izjemo UKL (1883), pri kateri smo zaradi zgubanosti papirja uporabili transformacijo tretjega reda. Kljub drugim možnostim rektifikacij (npr. lokalni razteg, angl. rubber sheeting), smo se za georeferenciranje z uporabo polinomnih transformacij odločili predvsem na podlagi dejstva, da je šlo v našem primeru za izrazite lokalne deformacije in hkrati majhno število referenčnih točk. Na območju raziskave skorajda ni antropogenih struktur, pred nekaj stoletji pa območje raziskave sploh ni bilo poseljeno. Vsekakor je bil odklon RMS precej velik, reda nekaj milimetrov a karti.

Pri georeferenciranju starejših UKL (1883) in L (1914) smo uporabili sedem kontrolnih točk. Točke so bile določene na podlagi objektov, ki so bili označeni na najnovejši karti DigTTN5 (1996) kot tudi na kartah UKL (1883) in L (1914). Te kontrolne točke so zajemale štiri cestne mostove (črnuški in tacenski most, most čez Gameljščico ter most čez Ljubljano pri Zalogu) in tri cerkve (cerkev sv. Kancijana, cerkev sv. Tomaža, cerkev sv. Jakoba). Poleg teh sedmih kontrolnih točk smo za primerjavo vzeli še cestno križišče v Savljah in cestni ovinek pri Klečah (slika 1). Ti dve točki smo vzeli kot dodatni kontrolni točki, s pomočjo katerih smo preverjali koliko tudi ostale točke (in ne samo sedem kontrolnih točk) na georeferencirani karti sovpadajo z referenčnimi. Kljub temu, da smo se poskušali držati pravila čim večje prostorske raztresenosti kontrolnih točk, nam tega ni uspelo uresničiti. Zaradi pomanjkanja identičnih točk (objektov, ki bi se pojavili tako na UKL (1883) kot tudi na DigTTN5 (1996), smo lahko referenčne točke postavili samo v bližino dveh oglišč.



Slika 1: Pregledna karta dela Ljubljanskega polja z reko Savo in položaj nekaterih referenčnih točk (DOF5 2001; DigTTN5 1996).

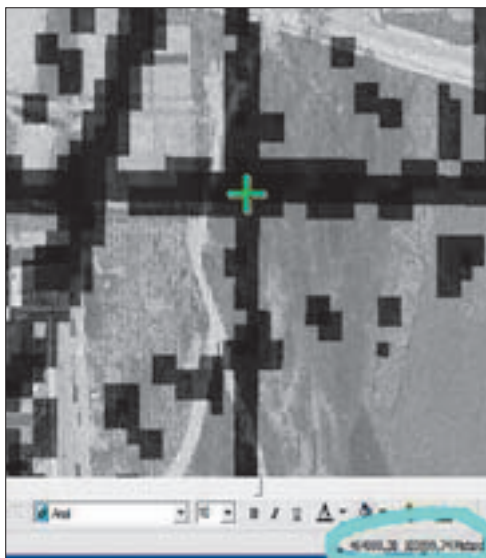


Slika 2: Oznaka cerkve sv. Kancijana na UKL (1883) (za podlago služi DOF5 2001).

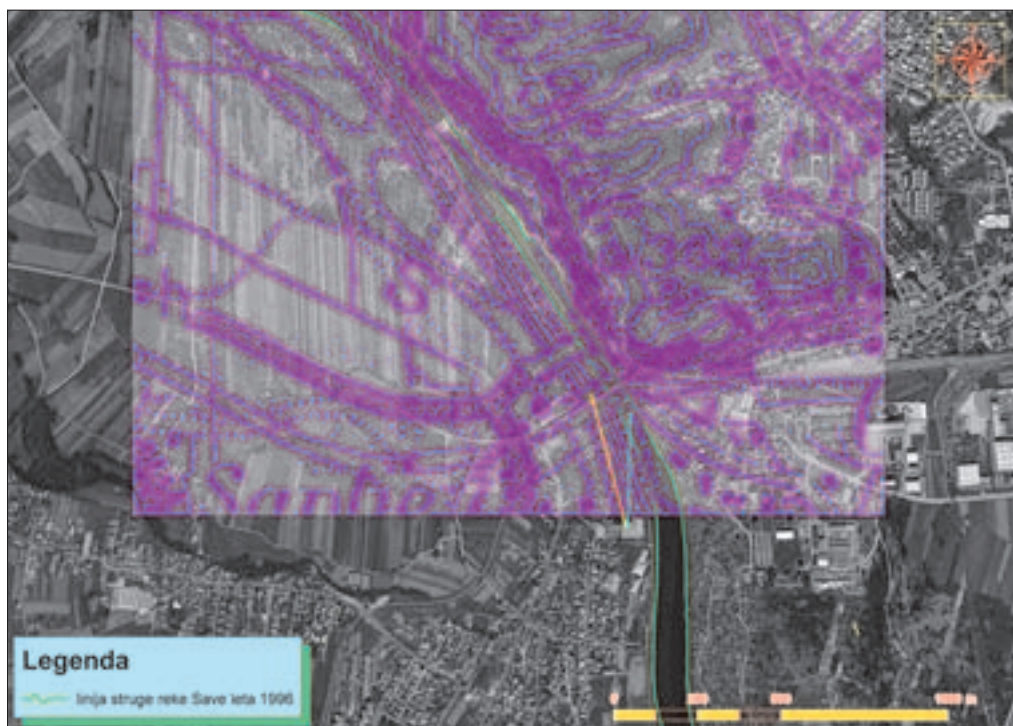
Kljub temu, da so cerkve zaradi svoje stalnosti pogosto primerne referenčne točke, za razliko od cestnega in železniškega omrežja s pripadajočo infrastrukturo, niso nenatančno kartirane. Znak pogosto ni postavljen natančno nad položaj objekta, prav tako se pojavi problem različnih meril in s tem različne stopnje generalizacije. To težavo smo poskušali rešiti z uporabo orodja dodajanja kontrolnih točk (add control points). Z miško se označi del karte, ki ga želimo prestaviti na novo lokacijo v prostoru. Označeni del nato prestavimo na zeleno lokacijo. S tem orodjem lahko napravimo manjše popravki na georeferencirani karti, kot so premik ali zasuk celotne karte.

Na sliki 2 rdeča točka ponazarja položaj cerkve sv. Kancijana na Ježici, z rumeno obrobo pa je obkrožen kartografski znak cerkve, ki je prikazan na karti UKL (1883).

Vse georeferencirane karte smo vektorizirali v merilu 1 : 2000. Zaradi skenogramov kart slabe ločljivosti nismo uspeli vektorizirati linij strug reke Save v predvidenem večjem merilu. Za potek linije strug smo privzeli sredinsko linij kot približek podatkov na skenogramih kart. Dobili smo šest linij struge reke Save iz različnih virov in obdobj. Že omenjeno DTK50 (1956) smo le vektorizirali, ne pa tudi georeferencirali. Na sliki 3 se lepo vidi natančnost georeferenciranja, saj imajo stičišča koordinatnih



Slika 3: Prikaz stičišča koordinatnega sistema (DOF5 2001; DTK50 1956).



Slika 4: Prikaz nenatančnosti georeferenciranja na podlagi črnuškega mostu (DOF5 2001; DTK50 1956).

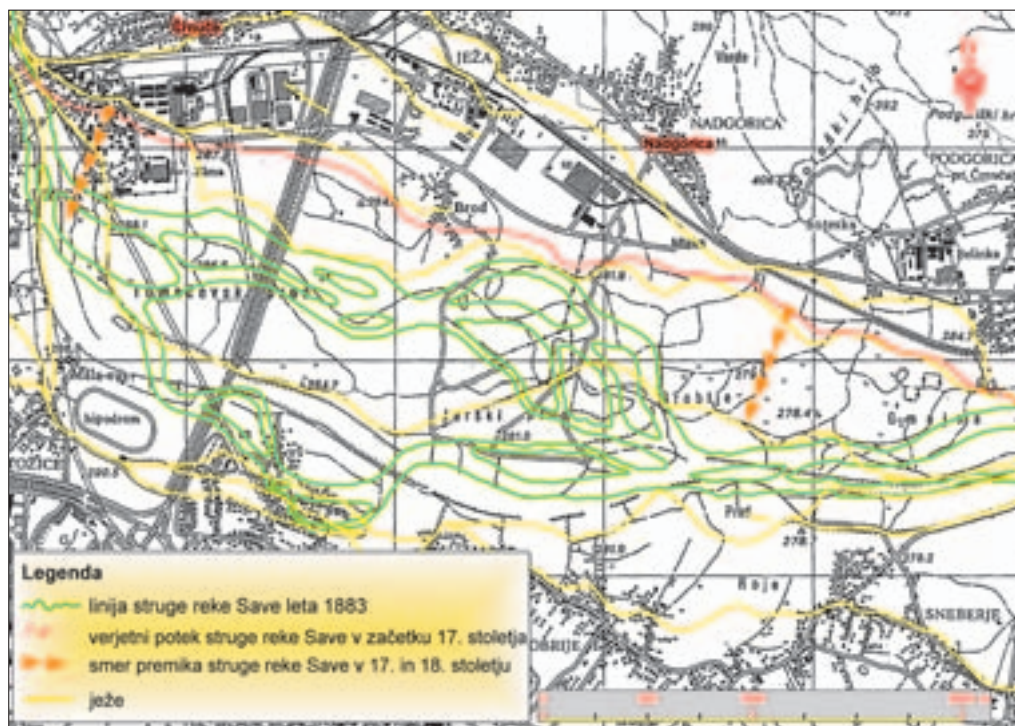
osi točne koordinate, kljub vsemu pa je bila karta iz tega leta za vektorizacijo praktično neuporabna (slika 3).

Na sliki 3 lahko v delu, ki je obkrožen z modro barvo, razberemo položaj v koordinatnem sistemu. Puščica je natanko nad stičiščem meridianov in paralel – napaka pri georeferenciranju je tu zelo majhna. Kljub izjemni natančnosti georeferenciranja so se napake velikega obsega pojavile znotraj kvadratov koordinatne mreže (slika 4).

Z modro puščico je na sliki 4 označen položaj železniškega mostu na DOF5 (2001), z rumeno puščico pa položaj železniškega mostu na DTK50 (1956). Razlika med posameznimi elementi na karti je približno 200 metrov, obenem pa so bile popačene tudi oblike objektov na karti. Črnuški most je na georeferencirani karti širok kar 55 metrov, kar lepo kaže na generalizacijo podatkov. Razlaga za to napako bi bila, da je posledica nenatančno izrisane koordinatne mreže na karti (georeferenciranje je bilo narejeno na podlagi izrisane koordinatne mreže na karti). Omenjeni primer lepo ponazarja dejstvo, da se pri starejših kartah ne smemo preveč zanašati na koordinatno mrežo, saj je na kartah polno lokalnih distorzij.

#### 4 Spreminjanje struge reke Save na Ljubljanskem polju

Georeferenciranje ter vektorizacija izbranih kart sta bila narejena z namenom, da analiziramo spreminjanje struge reke Save glede na posamezne časovne preseke. Splošno je znano, da je reka Sava v večjem delu proučevanega območja med medenskim mostom in sotočjem Kamniške Bistrice, Ljubljance in Save, izraziteje spreminjala strugo.



Slika 5: Spreminjanje struge reke Save na odseku med črnuškim in šentjakobskim mostom v obdobju od 17. do 18. stoletja (UKL 1883; DigTTN 1996).

Največjo razliko med linijami reke Save smo ugotovili na odseku pri stožiskem zavoju (sliki 5 in 6). Glavni razlog za takšne razlike na tem območju, je regulacija reke Save v zadnjih 250 letih, v kombinaciji s specifičnimi geološkimi (geomorfološkimi) razmerami.

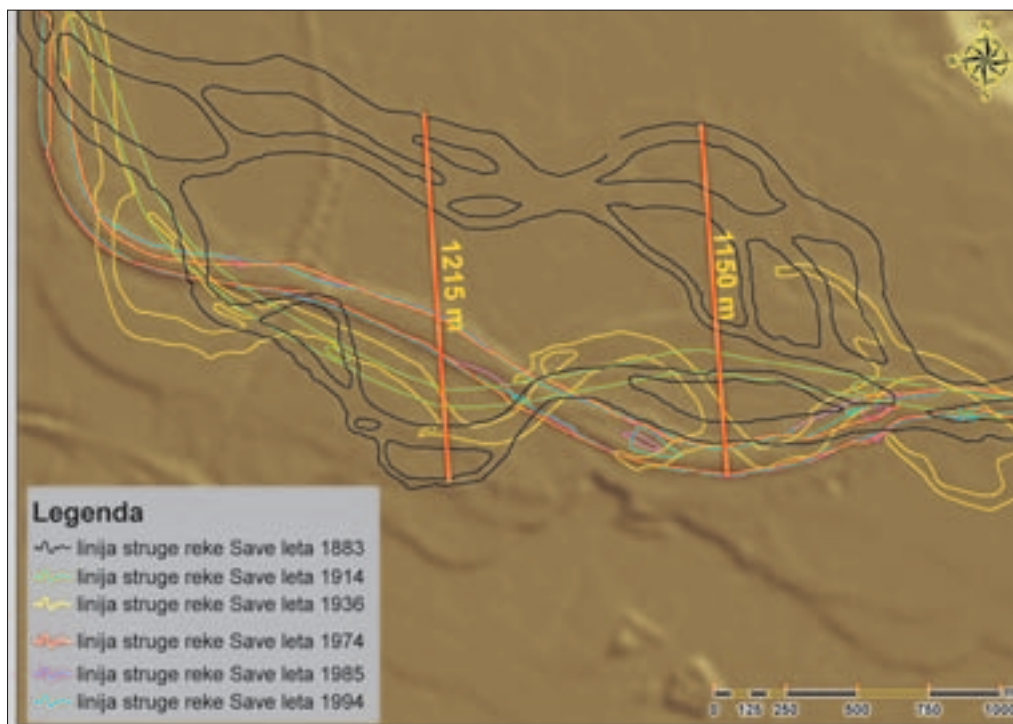
Zaradi slabih podatkov o višinah tega območja v zadnjih 130 letih smo vertikalno spreminjanje struge reke Save ugotavljali s pomočjo ostankov suhih strug in jež. Položaj suhih strug in jež smo pridobili iz digitalnega modela višin InSAR DMV 25 (2000), in sicer s prostorskimi analizami tega sloja. Bistvena lastnost robov v prostoru, npr. grebenov, jež, strug ipd. je, da se na njihovem območju njihova nadmorska višina spremeni na relativno kratki razdalji, kar lahko ob kakovostnih podatkih modela višin s pomočjo senčenja površja tudi jasno prikažemo. Izdelali smo tudi sloje klasificiranih nadmorskih višin, plastnic z ekvidistanco 2 metra ter iskali pregibe glede na ukrivljenost površja (curvature).

Robove smo pridobili z zaznavanjem robov (edge detecting tool) ter s filtriranjem sloja višin z visoko propustnim filtrom (high pass kernel). Tako pridobljene robove smo nato pretvorili v linijski podatkovni sloj. Tako dobljene podatke smo še dodatno preverili s slojema pregibov in plastnic. S kombinacijo podatkov smo odkrili še 67 robov več (vsega skupaj smo ugotovili 357 robov), predvsem jež, kot s samo metodo zaznavanja robov (slika 7).

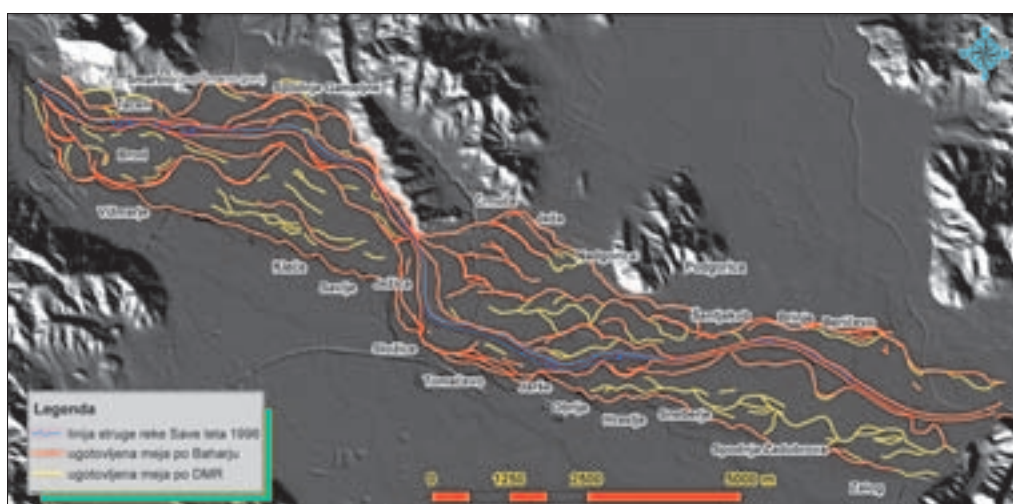
Ker Sava na tem odseku ne teče samo v eni smeri (Z–V), je bila vrednost azimuta za senčenje površja na vsakem odseku različna. Na odseku Medno–Črnuče so bili najboljši rezultati pridobljeni pri azimutu 0°, 45° in 225°, na odseku Črnuče–Beričevo z vrednostmi azimuta 0°, 45°, 180° ali 225°, na odseku Beričevo–sotočje Save, Ljubljance in Kamniške Bistrice pa z azimutoma 0° ter 225°.

Bahar (1985) je v diplomskem delu narisal pregledno karto poteka teras in suhih strug. Rečne terase je glede na Ilešičevo (1935) klasifikacijo označil s številkami 7, 7/1, 7/2, 7/3, 8 in 9. Umestitev določenega





Slika 6: Primerjava linije struge reke Save med različnimi leti pri stožiskem zavoju (UKL 1883; L 1914; DHJ 1943; TK25 1976; TTN5 1987; DigTTN5 1996; DOF5 2001).



Slika 7: Potek teras in rečnih paleostrug (Baharjeva terminologija) na Ljubljanskem polju (Bahar 1985; DMV25 2000) in primerjava s položajem suhih strug in jež na Ljubljanskem polju, ugotovljenih v naši analizi.

območja v eno izmed teras je temeljilo na povprečni višini površja, pri čemer je seveda upošteval tudi padec površja, ki na Ljubljanskem polju znaša približno 3 ‰. Podatke za višino površja je pridobil iz TTN-ja v merilu 1 : 5000 (slika 7).

Pri ugotavljanju teras in ostankov suhih strug smo se odločili, da bomo uporabili za GIS primernejšo metodologijo, kot jo je izbral Bahar pri svojem klasičnem pristopu. Pomagali smo si z digitalnim modelom višin in z DOF5 (2001). Pri tem naj poudarimo, da se razlike v številu ugotovljenih suhih strug in jež niso pojavile pri že zabeleženih suhih strugah in ježah, pač pa smo dobili za približno tretjino suhih strug in jež, ki jih Bahar z uporabo »klasičnih« metod ni mogel odkriti. Prednosti opisanih metod so bile v analizi najbolj izrazite na odseku med Sneberjem in Zalogom, saj je tam sprememba nadmorske višine med terasami izrazito majhna, nizke pa so tudi ježe, ki razmejujejo terase.

Uporaba GIS-orodij in DMV za ugotavljanje geomorfnihih sprememb ima kar nekaj prednosti. Ena izmed najpomembnejših je ta, da lahko v relativno kratkem času preizkusimo večje število metod oziroma tehnik pri različnih pogojih, npr. pri različnih vrednostih azimuta.

## 5 Sklep

Kljub vsem nespornim prednostim, ki jih prinaša uporaba GIS-orodij, moramo omeniti, da za uporabo opisanih metod potrebujemo tudi zmogljivo strojno opremo. Rezultati analiz so v veliki meri odvisni od primernosti podatkov, od kakovostnega georeferenciranja/rektifikacije in vektorizacije. Na žalost moramo omeniti tudi to, da se pri GIS-metodah kot končna ocena pri obdelavi podatkov vse prevečkrat pojavlja subjektivna ocena avtorjev analiz.

Potek struge reke Save se je v zadnjih 150 letih zelo spremenil. Največje spremembe so bile na območju današnjih Stožic, kjer je bila največja razlika v poteku struge reke med leti 1883 in 2005, nekaj več kot 1200 metrov (slika 6). Na današnji potek struge reke Save na Ljubljanskem polju je vplival tudi človek z obsežnimi regulacijami struge, vendar ne smemo prezreti dejstva, da je potek današnje struge reke predvsem posledica recentnih geoloških in geomorfoloških razmer Ljubljanskega polja. Na prelomu 19. stoletja, se je na območju Ljubljanskega polja izvedla obsežna regulacija, med drugim je bila zgrajena tudi HE Tacen. Z izgradnjo HE Tacen se je v veliki meri spremenil transport plavja. Dolvodno od HE Tacen je Sava začela intenzivno poglobljati pri čemer je dolvodno od črnuškega mostu pričela epigenetsko vrezovati.

S primerjavo SVZ (1763–1787) in zemljevida UKL (1883) na eni strani in zemljevidov L (1914), TK50 (1956), TK25 (1976), TTN5 (1987), DigTTN5 (1996) ter DOF5 (2001) na drugi strani, smo prišli do sklepa, da bi bila struga reke Save, če ne bi bila regulirana, dosti bolj razvejana in sestavljena iz dveh, treh ali celo štirih delov z vmesnimi obsežnimi prodišči (otoki) (Bec 2005, 170).

Možnosti nadaljnje raziskave vidimo predvsem v analizi poglobljanja struge reke Save na celotnem odseku ter v ugotavljanju spreminjanja poteka struge v povezavi z regulacijo reke Save in tudi v ugotavljanju povezave med regulacijami ter poselitvijo območja v bližini struge. Boljše rezultate analize pa bi pridobili tudi z uporabo boljših podatkov, na primer z uporabo DMV 10 metrske ločljivosti.

## 6 Viri in literatura

- Bahar, I. 1985: Novejša poglobljanja Save na Ljubljanskem polju. Diplomski naloga. Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo, Ljubljana.
- Bec, D. 2005: Spreminjanje struge reke Save na Ljubljanskem polju. Diplomski naloga. Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo, Ljubljana.
- DHJ 1943: Deutsche Heereskarte Jugoslawien. List 11-3-c, List 11-4-c, List 11-3-d. 1 : 25.000. Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo, Ljubljana.

- DigTTN5 1996: Digitalni temeljni topografski načrt. 1 : 5000. Geodetska uprava RS, CD ROM  
InSAR DMV 25 2000: Podobnikar, T., Oštir, K. Insar DMV 25. ZRC SAZU, Ljubljana (dobljen po dogovoru v rastrski obliki).
- DOF5 2001: Digitalni ortofoto. CD ROM, Geodetska uprava RS.
- TK50 1956: Topografska karta SR Slovenije. List 30-3, List 30-4. 1 : 50.000. Vojnogeografski inštitut, Ljubljana.
- ERDAS 2003: ERDAS Field guide (seventh edition). Leica Geosystems, Atlanta.
- ESRI 2005: Help documentation for ArcGIS Desktop (HELP dokumentacijo dobite skupaj z instalacijo ArcGIS Desktopa).
- Ilešič, S. 1935: Terasa na gorenjski ravnini. Geografski vestnik 11. Ljubljana.
- Kvamme, K., Oštir-Sedej, K., Stančič, Z., Šumrada, R. 1997: Geografski informacijski sistemi. Ljubljana. L 1914: Laibach. List 5553. 1 : 75000. Militärgeographisches Institut, Wien.
- McCoy, J., Johnston, K. 2001: Using ArcGIS Spatial Analyst. Redlands.
- Minami, M. 2000: Using ArcMap. Redlands.
- Podobnikar, T. 2001: Digitalni model reliefa iz geodetskih podatkov različne kakovosti. Doktorska disertacija. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana.
- SVZ 1763–1787: Slovenija na vojaškem zemljevidu – Opisi, 2. zvezek, 1996, Ljubljana.
- TK25 1976: Topografska karta. List 013-3-3, Ljubljana, List 012-4-4, Šentvid. 1 : 25.000. Vojnogeografski inštitut, Beograd
- TTN5 1987: Temeljni topografski načrt. Ljubljana-S-21, Ljubljana-S-22, Ljubljana-S-23, Ljubljana-S-35, Ljubljana-S-36. 1 : 5000. Republiška geodetska uprava, Ljubljana.
- UKL 1883: Umgebungs Karte von Laibach. 1 : 75.000. K. k. Militär geographisches Institut, Laibach.

## ANALIZA HIDRAVLIČNIH LASTNOSTI VODOTOKOV Z UPORABO GIS ORODJA

**mag. Leon Gosar, Gašper Rak in dr. Franc Steinman**

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za mehaniko tekočin

Hajdrihova 28, 1000 Ljubljana, Slovenija

leon.gosar@fgg.uni-lj.si, rak.gasper@gmail.com, fsteinma@fgg.uni-lj.si

UDK: 556.536:659.2:004

### IZVLEČEK

#### **Analiza hidravličnih lastnosti vodotokov z uporabo GIS orodja**

Zapletenost postopkov povezave GIS in hidravličnih orodij ter potreba po dodatni usposobljenosti so dolgo odvrčale vodarje od obsežne uporabe GIS orodij. Zato so bile prednosti, ki jih prinaša povezava, zapostavljene in nedosegljive inženirjem, ki niso napredni uporabniki za delo z GIS podatki. Razširitev HEC-GeoRAS programskega orodja ArcGIS pa omogoča tudi inženirjem z malo izkušnjami s področja GIS pripravo prostorskih podatkov o geometriji rečnega korita in poplavnih površin na podlagi digitalnega modela terena. Boljše informacije bi lahko uporabili v programskem orodju za natančnejše hidravlične presoje v odprtih vodotokih (HEC-RAS), kasneje pa omogočajo tudi večjo ločljivost izrisa izračunanih poligonov vodne gladine znotraj struge ter na poplavnih območjih. Orodje je razvil Center za hidrološko inženirstvo (HEC, Hydrologic Engineering Center) v sodelovanju z Inštitutom za raziskovanje okolja (ESRI, Environmental System Research Institute). Članek prikazuje povezavo GIS orodja s hidravličnim modelom z uporabo DMT, izdelanega na osnovi podatkov, dobljenih s tehniko LIDAR, ki zagotavlja natančno topografijo terena, s tem pa bolj učinkovite hidravlične analize.

### KLJUČNE BESEDE

GIS, HEC-GeoRAS, LIDAR, hidravlični model, tok odprtih vodotokov

### ABSTRACT

#### **Use GIS tools for hydraulic analysis of streams**

Although hydraulic analysis can benefit from digital terrain models and other GIS data sets, the complexity and unfamiliarity of GIS programs deters hydraulic engineers from using them. Because of that reason benefits derived from using a GIS to assist in hydraulic analysis are often unavailable to engineers not specialized in GIS knowledge. HEC-GeoRAS allows an engineer with little GIS training to use ArcGIS to develop geometric data for import in HEC-RAS and management of exported water surface profile data. The HEC-GeoRAS is an ArcGIS extension specifically designed to process geospatial data for use with HEC-RAS. It was developed as a part of the Hydrologic Engineering Center's »New Generation« of hydrologic engineering software in cooperation with Environmental System Research Institute (ESRI). In article work with GIS to prepare geometric attribute data of river channel for use in hydraulic model and analysing floodplain polygons on digital terrain mode was presented. For creating DTM topographic data acquired with LIDAR technique was used. Such model assures high accuracy needed for hydraulic analysis.

### KEYWORDS

GIS, HEC-GeoRAS, LIDAR, hydraulic model, open channel flow

## 1 Uvod

Človek je od nekdaj povezan z vodo, ki predstavlja nepogrešljiv dejavnik v življenju vseh živih bitij. Razen za osnovne življenjske potrebe je človek vodo kmalu začel izkoriščati tudi v druge namene, kar mu je olajšalo in omogočilo marsikatero delo. Zato se je naseljeval ob vodotokih, kjer je vodno moč izkoriščal v mlinih, žagah, uporabljal vodo za transport (npr. splavitev lesa), vodo črpal za uporabnike, jo uporabljal za namakanje ipd. Seveda pa na drugi strani lahko voda predstavlja tudi veliko nevarnost saj erozija, poplavljanje in drugi neugodni pojavi hitro ogrozijo človeška življenja in njegovo lastnino. Da bi po eni strani izkoristil prednosti, ki mu jih voda prinaša, po drugi pa zaščitil sebe in svojo lastnino, je človek kmalu začel z izgradnjo objektov na vodotokih ter regulacijami le-teh. Včasih so taka dela opravljali zgolj na podlagi izkušenj in brez poglobljene strokovne podlage, zato so imeli taki posegi lahko tudi negativne posledice ter so povzročali celo poslabšanja stanja. Z razvojem različnih vej inženirstva pa se je začelo problematiko obravnavati tudi interdisciplinarno. Da bi kar najboljše spoznali naravo vodotokov in ob tem nastajajoče pojave ter vzroke zanje, se je poleg opazovanja in meritev na vodotokih želelo spoznati in simulirati različne ekstremne pojave. Na začetku so bili to fizični modeli, ki imajo veliko prednosti in je njihova uporaba še danes dostikrat nepogrešljiva. Zaradi velikih stroškov, prostorske omejenosti laboratorijev ter drugih slabosti je njihova uporaba vse redkejša. Tako kot na drugih področjih znanosti je tudi pri hidravličnem modeliranju razvoj računalništva v drugi polovici 20. stoletja pomenil pravo revolucijo. Programi za hidravlično matematično modeliranje, ki so v začetku omogočali obravnavo preprostih primerov enodimenzionalnega toka, se hitro razvijajo in danes že omogočajo tudi analizo dvo in tridimenzionalnega toka. Pri večini programov poteka vnos geometrije s prostorskimi koordinatami X, Y, Z v lokalnih koordinatnih sistemih. Takšen način je primeren, ko želimo obravnavati zgolj hidravlične lastnosti posameznih objektov na vodotokih. Pri obravnavi daljših odsekov vodotokov in poplavnih površin je potrebno hidravlični model umestiti v dejanski prostor in zajeti tudi druge geografske, objektne in tematske podatke v prostoru. Pri izdelavi natančnega modela terena si je možno pomagati s povezavo področij hidravlike in geografsko informacijskega sistema (GIS), zato uporaba GIS za združevanje različnih informacij v prostoru prinaša pomemben napredek tudi za hidravlične analize. Zaradi zapletenosti postopkov agregacije, izločanja ipd. se pokaže kot ovira potreba po dodatni usposobljenosti inženirjev za uporabo GIS orodij. Zato razmeroma dolgo ni prišlo do direktne povezave GIS orodij in orodij za hidravlične izračune. Ker pa se je razvoj hidravličnih modelov širil tudi na to področje, je sodelovanje strokovnjakov s področja GIS za skupen razvoj programske opreme, ki bi omogočila izkoristiti prednosti hidravličnih analiz z uporabo GIS orodij, vse večje.

V prispevku je predstavljena metodologija analize hidravličnih lastnosti odseka vodotoka z uporabo kombinacije razširitve programa ESRI ArcGIS HEC-GeoRAS in programa za hidravlične izračune HEC-RAS. Ta povezava programov omogoča tudi uporabnikom, ki niso strokovnjaki na področju GIS, izkoristiti prednosti, ki jih prostorsko informacijski sistem ponuja in so bile zaradi zapletenosti postopkov povezovanja doslej zapostavljene ali le redko uporabljene.

## 2 Hidravlično modeliranje in GIS orodje

Pri opisani metodologiji smo kot hidravlično orodje uporabili HEC-RAS, ki je široko razširjen program za račun hidravlike enodimenzionalnega stalnega in nestalnega toka odprtih vodotokov, razvit pod okriljem ameriške vojske (US Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center). Postopek opisa geometrije rečnega korita pri običajnih hidravličnih programih poteka od izrisa tlorisne situacije vodotoka do definiranja točk posameznih prečnih profilov v lokalnih koordinatnih sistemih opisa, objektov na in ob vodotoku, vrednosti koeficientov hrapavosti ostenja ter ostalih parametrov, ki vplivajo na hidravlične razmere v vodotoku. Po opravljenem izračunu lahko rezultate analiziramo grafično ali tabelično. Vnos podatkov geometrije rečnega korita se izvaja s podajanjem prostorskih koordinat X, Y, Z,

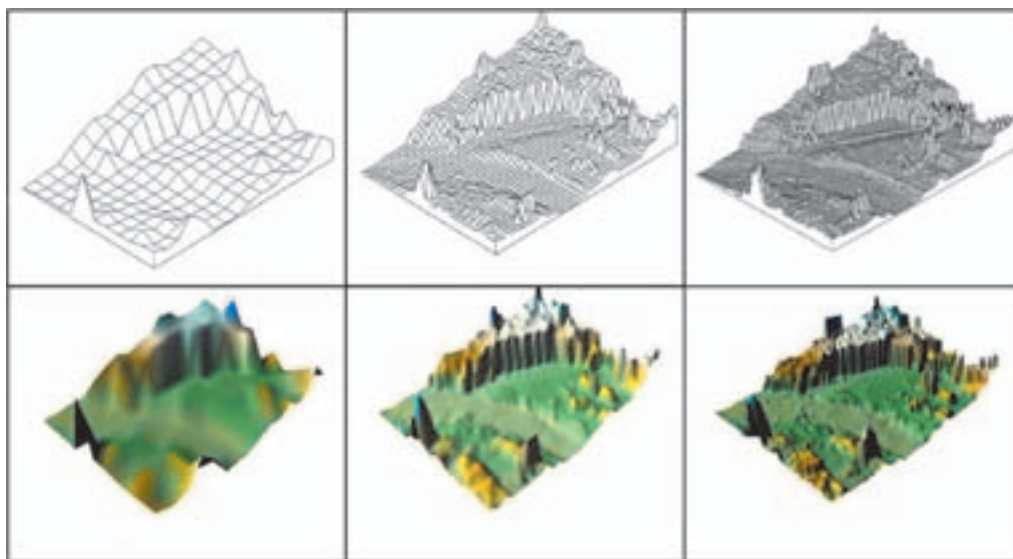
zato je na lokaciji izmerjenega prečnega profila geometrija zelo natančna, bistveno manj pa je natančna interpolacija geometrije za del korita med posameznimi izmerjenimi prečnimi profili.

To so le nekateri vzroki, ki so spodbudili uporabnike k pripravi geometrije rečnega korita in poplavnih območij z uporabo GIS orodja. Osnova za delo je digitalni model terena (DMT) v obliki nepravilne trikotniške mreže (TIN). DMT lahko izdelamo na podlagi osnovnih topografskih podatkov, zbranih s pomočjo različnih tehnik daljinskega zaznavanja, digitalizacijo kart, izohips in podobno, ki dajejo seveda podatke različne točnosti.

## 2.1 Digitalni model terena

Za pripravo podatkov o prečnih profilih, v katerih se modelirajo hidravlične veličine, uporabimo digitalni model terena (DMT). DMT je model terena, kateremu so dodane glavne topografske značilnosti terena, kot so to denimo padnice, kote, grape, grebeni itd. (Šumrada 2005). DMT je izdelan na podlagi obsežnih meritev na terenu s pomočjo različnih metod daljinskega zaznavanja in klasičnih geodetskih meritev. Najnatančnejše modeliranje lahko izvedemo iz točk izmerjenih s pomočjo tehnologije LIDAR (*Light Detection and Ranging*). Zajem podatkov tu poteka s pomočjo aktivnega senzorja v obliki laserskega tipala, pritrjenega na letalo, helikopter ali vesoljsko plovilo. Na ta način dobljeno bazo podatkov, ki opisuje topografijo terena, sestavljajo točke, oz. zapisi v obliki koordinat X, Y, Z posameznih točk terena. S pomočjo teh podatkov lahko izdelamo model terena, ki je prilagojen hidravličnemu modeliranju s programskim orodjem HEC-GeoRAS in je v obliki mreže neenakih trikotnikov (TIN).

TIN ima nekaj izrazitih prednosti v primerjavi z rastrskim DMT. TIN podaja obravnavano območje z mrežo sklenjenih in neprikrivajočih se trikotnikov, ki se stikajo in se lahko razlikujejo po obliki in velikosti. Iz točkovnih višinskih vrednosti lahko tako mrežo ustvarimo precej hitreje kot z ustrezno mrežno interpolacijo. Takšna oblika je tudi bolj primerna za shranjevanje podatkov o črtah spremembe naklona (npr. brežine, nasipi, ipd.), o višinskih točkah, dobro opiše navpične strukture ipd. V TIN lahko tudi poljubno zgostimo točke s katerimi predstavljamo relief, kar je prav tako ena večjih prednosti modela TIN, kadar je treba ožje območje podrobno analizirati.



Slika 1: Prikaz topografije terena z DMT z različno natančnostjo posnetih točk površja in posplošenja, ki pri tem nastajajo (Alemseged 2005).

Večina DMT je zadovoljivo natančnih za splošen prikaz terena. Pri zajemu geometrijskih podatkov za hidravlično analizo pa je potrebna večja natančnost. Z uporabo novejših tehnik zajema višinskih točk (npr. LIDAR) lahko rešimo probleme natančnosti in težave, ki se pojavljajo pri DMT izdelanih na podlagi digitaliziranih kart. Te namreč ne vsebujejo dovolj natančnih podatkov o konfiguraciji terena, pa tudi ne rečne struge pod vodno gladino in posledično njene globine. Navadno so prečni profili izmerjeni na večjih medsebojnih razdaljah, kar privede do napak pri interpolaciji točk ob izdelavi TIN. Veliko naravnih pojavov (npr. skalna stena, soteska, ...) in tudi umetnih objektov (npr. zidovi, mostovi ...) ima lahko različno vrednost višine za nivojske točke, ki se nahajajo v prostoru z istimi koordinatami  $x$  in  $y$ . Običajni DMT tega problema ne more popolnoma rešiti, čeprav zajem ploskev z večjimi gradienti lahko izboljšamo z večjo gostoto točk. Takšen DMT je včasih poimenovan kot 2,5-dimenzionalen.

## 2.2 Tehnologija LIDAR

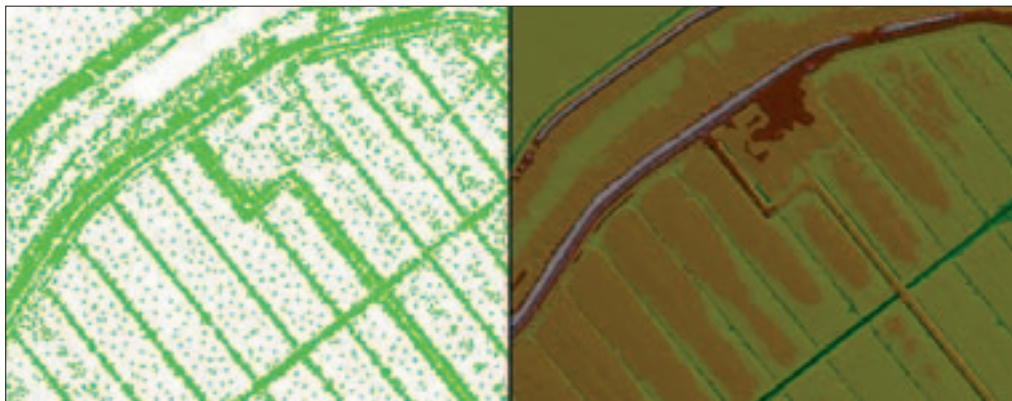
Tako kot večina tehnik, kot so GPS ipd., je bil tudi LIDAR (*tehnologija LIDAR – Light Detection and Ranging*) razvit v prvi vrsti za vojaške potrebe in njegova uporaba se je kasneje razširila tudi na civilno področje. Ta hitro razvijajoča se tehnologija temelji na daljinskem zaznavanju s pomočjo laserskega tipala, ki je lahko pritrjeno na zračna plovila (letala, helikopterji) ali vesoljska plovila. Takšno tipalo spada med aktivne senzorje daljinskega zaznavanja, saj je sistem sam sebi vir energije in ni odvisen od zunanjih virov, kot so npr. optični sistemi. Uporabnost in razširjenost je botrovala številnim sistemom, ki so danes na voljo tudi za komercialno uporabo.



Slika 2: Sistem LIDAR (Alemseged 2005).

Sistem laserskega skeniranja sestoji iz komponent na plovilu in komponent za obdelavo podatkov. Lasersko tipalo, ki je sestavljeno iz laserja, oddajnika, sprejemnika, detektorja signala, ojačevalca in ostalih elektronskih komponent, je le del sistema na plovilu. Prav tako nepogrešljivi so tudi radarska antena, GPS (Global positioning system), IMU (inercijska merilna enota) ter video kamera ali fotografski aparat za dokumentacijo.

Za natančnejše meritve se navadno uporablja LIDAR pritrjen na helikopter, kar omogoča nižjo višino leta, manjšo hitrost letenja in izmero koordinat 10–20-tih točk na kvadratni meter. Na gozdovi poraščenih in urbanih območjih lahko žarek zadane v več kot en objekt kar ima za posledico več odbitih signalov. Takšni večkrat odbiti signali lahko služijo za ugotavljanje višine in oblike nekega objekta ali vegetacije. Zadnji odbiti signal se upošteva kot točka terena za DMT. Avtomatična ekstrakcija objektov in razvoj modela je še vedno v razvoju in se naslanja tudi na aerofoto posnetke. Ko bo tehnika dovolj napredovala, bo gotovo tudi na področju zaznavanja objektov prišla v uporabo, saj bi zaradi natančnosti dobili dobre modele zgradb.



Slika 3: Prikaz točk posnetih s sistemom LIDAR (levo) in iz njih izdelan TIN (desno); na mestih, ki so pomembnejša pri hidravličnih analizah so točke zgoščene (SIMIS 2006).

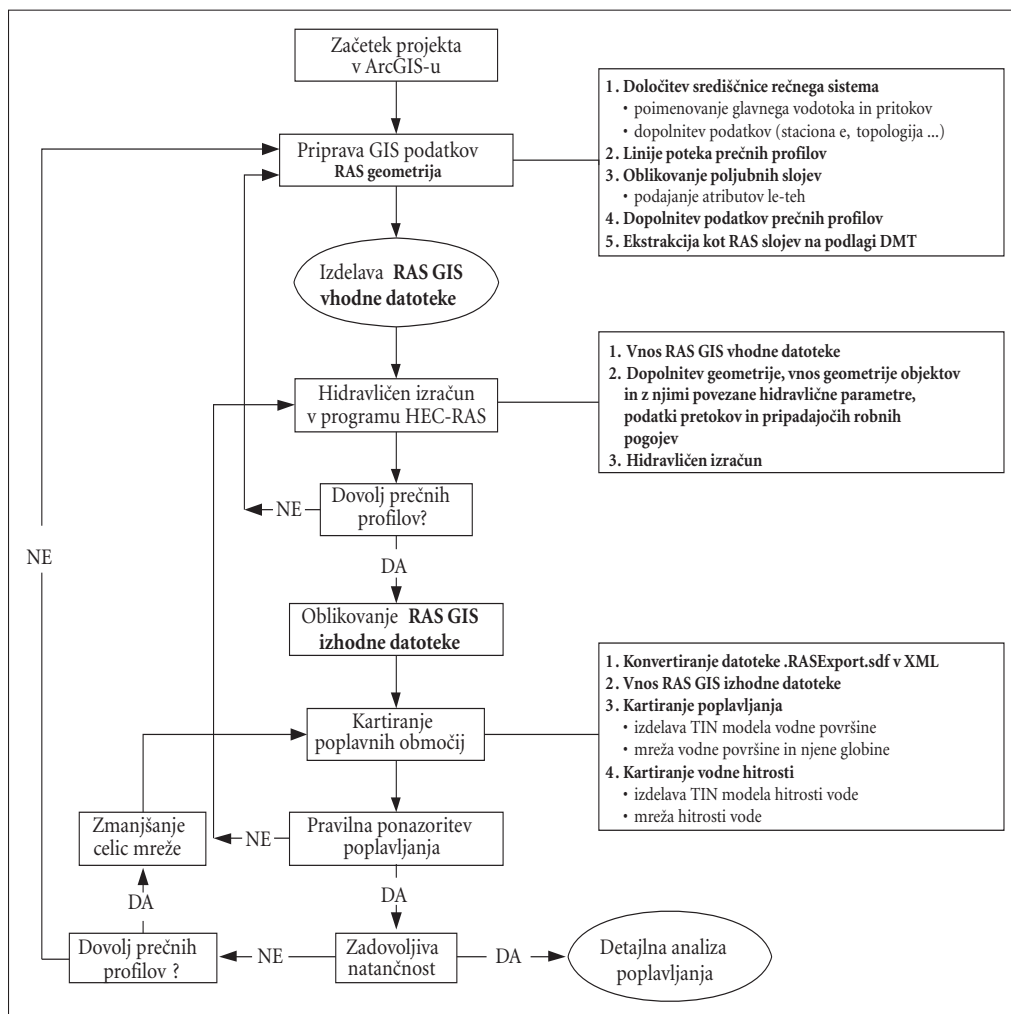
Prednosti, ki jih prinaša LIDAR, predstavljajo potencial za reševanje problemov, povezanih z natančnimi topografskimi podatki, ki so vhodni podatek za modeliranje naravnih procesov. Glavna prednost je natančna digitalna narava podatkov, ki je manj podvržena horizontalnim napakam kot podatki točk, dobljenih s pomočjo izohips. S pomočjo podatkov, zajetih s tehnologijo LIDAR, dobimo točke terena z natančnostjo med 10 in 15 cm. Pri hidravličnem modeliranju se kot prednost pokaže tudi možnost hitre pridobitve podatkov s kontinuiranimi preleti nad poplavnimi območji in s tem spremljanje morebitnih sprememb topografije terena zaradi poplav. Visoko resolucijski model prinaša prednosti tudi v primeru, ko imajo lahko majhni elementi terena, kot so nasipi, manjše zajeze, jarki, velik vpliv tako na vodotok kot tudi na začetek in način poplavljanja. LIDAR tudi omogoča gostejše izmerjene točke na takih mestih (prikazano na sliki 3), kjer so točke zgoščene na brežinah kanalov. To so točke preliivanja vode iz glavnega korita in so zato pomembne za natančnejše določanje mejnega pretoka, ko reka prestopi bregove.

### 2.3 Priprava geometrije rečnega korita in izračun poplavnih območij s pomočjo ArcGIS razširitve HEC-GeoRAS

*HEC-GeoRAS* je razširitev programskega orodja *ArcGIS*, ki omogoča pripravo prostorskih podatkov prečnih profilov za hidravlično analizo s programom *HEC-RAS*. *HEC-GeoRAS* vedno uporabljamo v kombinaciji s razširitvama *ArcGIS ESRI 3D Analyst* in *ESRI Spatial Analyst*. Medtem ko nam *3D Analyst* omogoča interpolacijo podatkov digitalnega modela, lahko s pomočjo razširitve *Spatial Analyst* prikazemo rezultate vodnih globlin in hitrosti vode v modelu po končanih izračunih s pomočjo rastrske mreže ali oblikujemo histograme. Kot je že omenjeno, mora biti digitalni model terena obravnavanega območja v obliki mreže neenakih trikotnikov (TIN), ki lahko bolje predstavlja površinsko razgibanost tako rečnega kanala kot pripadajočih poplavnih površin. Glavna zahteva pri modelu terena je dovolj velika natančnost, ki omogoča vnos podatkov in linij, potrebnih za izdelavo modela terena.

Ko je model terena v TIN pripravljen, lahko začnemo oblikovanje točkovnih, linijskih in poligonskih slojev za pripravo geometrijskih podatkov za *HEC-RAS*. Nekateri sloji so obvezni, nekateri izbirni. Med obvezne sloje poleg samega DMT sodijo središčnica vodotoka ter linije in profili prečnih prereзов. Ta dva sloja, ki jih oblikujemo najprej v 2D, kasneje pretvorimo v 3D obliko. Na podlagi DMT program določi potrebne razdalje in višinske vrednosti posameznih točk. Uporabnik ima na voljo še številne druge sloje s katerimi lahko izpopolni geometrijski model – tako lahko izrišemo linije prečnih bregov, nasipov in mostov, poti poplavnih tokov, poligonske sloje in sicer območja neefektivnega

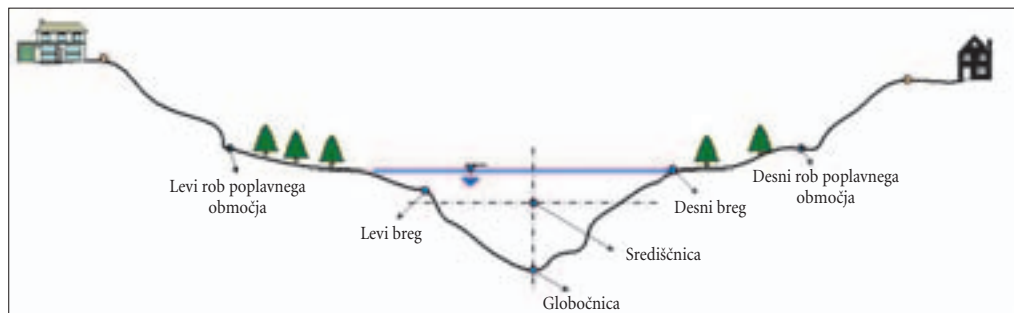




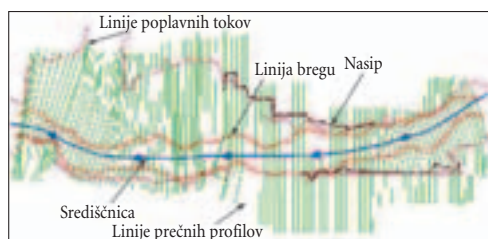
Shema 1: Hidravlična analiza s pomočjo GIS orodja.

toka, zgradbe ob rečnem koritu, ki jih je zajel vodni tok in tako zmanjšujejo površino prečnega prereza, območja akumuliranja vode ipd.

Program tudi omogoča povezavo s slojem v katerem določimo rabo tal. Oblikovanje tega sloja nam je v veliko pomoč pri definiranju Manningovih koeficientov hrapavosti  $n_g$  predvsem na poplavnih območjih. Program določi spreminjanje  $n_g$  vzdolž prečnega profila. Pri kreiranju teh slojev si lahko pomagamo z ortofoto posnetki, če se le-ti dovolj natančno prekrivajo z DMT, na podlagi katerih lahko natančno določimo lokacije posameznih objektov, pri določanju  $n_g$  itd. Pri tem moramo biti pozorni, saj DMT vsebuje podatke le za nekatere odseke, kot so akumulacijska območja, področja neefektivnega toka itd. Pri nekaterih pa si lahko na ta način le pomagamo z določanjem natančnejše lokacije objektov, samo geometrijo pa definiramo že v ArcGIS-u (npr. hiše, nasipi, ipd) ali kasneje v HEC-RAS-u. Med slednje sodijo mostovi, prepusti, načrtovani nasipi ipd. Po oblikovanju vseh slojev oblikujemo datoteko s celotnimi geometrijskimi podatki, ki je primerna za hidravlični program HEC-RAS.



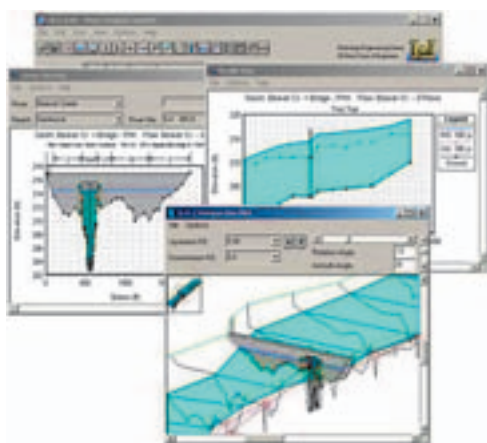
Slika 4: Prikaz prečnega profila s karakterističnimi točkami.



Slika 5: Situacija karakterističnih linij in točk, na podlagi katerih se izračuna geometrijo rečnega korita in poplavnih območij.

## 2.4 Hidravlična analiza s programom HEC-RAS

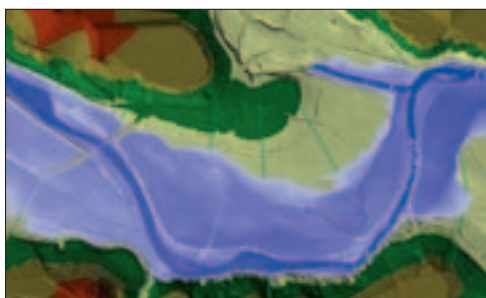
Z vnosom datoteke z geometrijskimi podatki je geometrija za hidravlično analizo pripravljena, zato jo po potrebi le še dopolnimo s hidravličnimi posebnostmi. Predvsem moramo definirati dimenzije objektov in določiti parametre, ki vplivajo na hidravlične lastnosti vodotoka ob njih (koeficienti razširitve/zožitve korita ipd.). V naslednjem koraku določimo pretoke in pripadajoče robne pogoje za dogodke, za katere želimo izvesti hidravlično analizo. Robni pogoji se lahko razlikujejo glede na vrsto toka (možnost stalnega in nestalnega toka). Po opravljenem izračunu lahko rezultate v grafični in tabelarni obliki analiziramo še v programskem orodju HEC-RAS. Seveda pa je končni namen prenesti rezultate hidravlične analize v GIS orodje ter jih prikazati na podlagi DMT, da bi bili na voljo drugim analizam danosti v prostoru.



Slika 6: Hidravlična analiza v programskem orodju HEC-RAS.

## 2.5 Prikaz rezultatov s programskim orodjem HEC-GeoRAS

Po končani hidravlični simulaciji prenesemo izračunani potek gladin nazaj v HEC-GeoRAS, kjer izvedemo kartiranje obsega poplavljanja za obravnavane dogodke. Poleg poplavljenih območij dobimo s postopki v okolju HEC-GeoRAS tudi prikaz porazdelitve vodne globine. Za prikaz poligonov vodne gladine moramo le-te pretvoriti v obliko TIN. Ta postopek se izvede z interpolacijo višin vodne gladine med prečnimi profili. Naklon ploskev poligonov med profili predstavlja padec vodne gladine. Ker je bila geometrija izdelana s pomočjo programskega orodja HEC-GeoRAS so poligoni prav tako tudi že umeščeni v prostor. Pri tem je potrebno poudariti, da poligonov, ki niso geopozicionirani, ni mogoče prenesti v GIS. Različna globina vode je prikazana z različnimi odtenki barv. Če rečno korito ni v izgonu, je tam voda tudi ob poplavljanju najgloblja, kar je tudi lepo razvidno iz slike 7. V samem rečnem koritu je odtenek modre barve temnejši, kar prikazuje večjo globino. Program lahko na podlagi nepravilne trikotniške mreže topografije terena in vodne gladine natančno določi globino vode za poljubno točko. Različica programa HEC-GeoRAS, ki deluje v povezavi s starejšo verzijo programa ArcGIS, omogoča tudi prikaz hitrosti vode za obravnavano območje. Ta možnost še ni podprta pri uporabljeni verziji, kljub temu pa ArcGIS predstavlja močno orodje in omogoča učinkovito predstavitev rezultatov, tudi 3D.



*Slika 7: Prikaz vodne globine na podlagi ortofoto posnetka. Različni odtenki modre prikazujejo različno globino vode. Lepo se vidi rečno korito, kjer je voda najgloblja in obarvana s temnejšim tonom.*

## 3 Sklep

Učinkovito ukrepanje ob pojavu visokih voda je v veliki meri odvisno tudi od natančnosti določanja stopnje nevarnosti na posameznih lokacijah. Natančne karte, ki prikazujejo območja poplavljenosti ob pretokih z različnimi povratnimi dobami predstavljajo osnovne podatke organom zaščite pred nevarnostmi visokih voda in planerjem različnih ukrepov ob in na vodotokih, kot so nasipi, zaježitve, kanali, razbremenilniki, ipd. Posebno pri bolj ravninskih območjih lahko že majhno zvišanje vodne gladine povzroči poplavitve na večjih območjih. Da bi dobili natančno ponazoritev, potrebujemo natančno predstavitev terena, za kar potrebujemo veliko število posnetih točk terena s prostorskimi koordinatami. V preteklosti to praktično ni bilo mogoče ali pa bi za takšno nalogo potrebovali ogromno časa in predvsem denarja. Relativno nova tehnologija LIDAR omenjeno težavo zelo uspešno rešuje. Učinkovitost se je pokazala tudi pri analiziranju hidravličnih lastnosti vodotokov s pomočjo GIS orodja, kjer je natančnost geometrije rečnega korita in poplavnih površin odvisna od natančnosti DMT. To je tudi vzrok, da se je DMT, izdelan s pomočjo digitaliziranih izohips, pokazal kot praktično neuporaben. Poleg splošne nenatančnosti tudi ne vsebuje batimetrije, to je topografije terena rečnega korita pod vodno gladino. Če bi v hidravličnih izračunih upoštevali gladino vode ob izmeri terena, se to pokaže kot navidezno višje dno. Izračun nepravilno upošteva manjši volumen korita in posledično se ugotovi manjša strugotvorna prevodna zmožnost. Zaenkrat so meritve s tehnologijo LIDAR, ki omogoča tudi pridobivanje podatkov topografije terena pod vodno gladino (do določene globine), precej drage in zato še niso širše uporabljene. Poleg stroškov je omejitveni faktor tudi precejšnja obsežnost zajetih in

procesiranih podatkov, zato je potrebna za obdelavo in izdelavo DMT na podlagi le-teh precej zmogljiva računalniška oprema. Razvojni cilji Interreg programa IIIA SIMIS (Povezani sistem monitoringa reke Isonzo – Soča) nam pokažejo dobre vmesne rezultate, temelječe na meritvah partnerjev iz tujine.

#### 4 Viri in literatura

- Ackerman, C., Evans, T., Brunner, G. 2002: Linking GIS to Hydraulic Analysis Using ARC/INFO and HEC-RAS. Texas. Medmrežje: <http://gis.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papers/pap682/p682.htm> (20. 11. 2005)
- Ackerman, C. 2002: Hydraulic Modelling of the Salt River, Arizona Using HEC-GeoRAS. Davis, CA. Medmrežje: <http://gis.esri.com/library/userconf/proc00/professional/papers/PAP953/p953.htm> (3. 12. 2005)
- Alemseged, T. H. 2005: Integrating Hydrodynamic Model and High Resolution DEM (LIDAR) for Flood Modeling. Medmrežje: [www.itc.nl/library/Papers\\_2005/msc/wrem/haile.pdf](http://www.itc.nl/library/Papers_2005/msc/wrem/haile.pdf) (4. 1. 2006)
- Barr, T. 2002: Application of GIS tools for Hydraulic Modelling. Texas. Medmrežje: <http://ceprofs.tamu.edu/folivera/txagis/Spring2002/Barr/Barr.htm> (15. 10. 2005)
- Burtzeij, J. 2003: GIS and 3-Dimensional Digital Terrain Modeling. Lund. Medmrežje: [http://www.giscentrum.lu.se/www\\_summeruniversity/projects2003/Burdziej.pdf](http://www.giscentrum.lu.se/www_summeruniversity/projects2003/Burdziej.pdf) (5. 1. 2006)
- Chae Kwan, L. 2003: Applying GIS in Hydraulic Analysis. Texas. Medmrežje: <http://ceprofs.tamu.edu/folivera/TxAgGIS/Spring2003/Lim/Lim.pdf> (14. 11. 2005)
- El-Ashmawy, N. 2003: Refine Modelling for Flood Extend Predictions Using Laser Scanning Medmrežje: [www.itc.nl/library/Papers\\_2003/msc/gfm/nagwa.pdf](http://www.itc.nl/library/Papers_2003/msc/gfm/nagwa.pdf) (11. 11. 2005)
- Gosar, L. Steinman, F. 1996: Povezava računa gladin v odprtih vodotokih in CAD sistema. Diplomaska naloga, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Olivera, F., Endres, B. 2003: Processing Geospatial Data with HEC-GeoRAS. Texas. Medmrežje: <http://ceprofs.tamu.edu/folivera/TxAgGIS/Spring2003/Endres/Endres%20Term%20paper.htm> (20. 11. 2005)
- Program evropske pobude Interreg IIIA Italija – Slovenija 2000–2006. SIMIS – Povezani sistem monitoringa Isonzo – Soča. Medmrežje: [www.simis.si](http://www.simis.si)
- Šumrada, R. 2005: Struktura podatkov in prostorske analize. Ljubljana
- US Army Corps of Engineers; Hydrologic Engineering Center 2003: Susquehanna River Flood Warning and Response system. Davis, CA Medmrežje: [www.nap.usace.army.mil/GIS/fwrs.htm](http://www.nap.usace.army.mil/GIS/fwrs.htm) (14. 11. 2006)
- US Army Corps of Engineers; Hydrologic Engineering Center 2002: HEC-RAS, River Analysis System User's Manual, Version 3.1.3. Davis, CA.



## ANALIZA VODOMERNIH POSTAJ ARSO Z VIDIKA REFERENČNIH RAZMER POREČJA

**Peter Frantar, dr. Irena Rejec Brancelj in Jure Jerovšek**

Agencija Republike Slovenije za okolje

Vojkova cesta 1B, 1000 Ljubljana

peter.frantar@gov.si, irena.rejec-brancelj@gov.si, jure.jerovsek@gov.si

UDK: 556.5:659.2:004(497.4)

### IZVLEČEK

#### **Analiza vodomernih postaj ARSO z vidika referenčnih razmer porečja**

Družbeno preoblikovanje naravnega okolja se odraža tudi na vodah, tako na njihovi količini kot kakovosti. Vzroki za spremembe so različne človekove dejavnosti, ki imajo lahko vpliv na okolje (npr. kmetijstvo, industrija) in ki so razpoznavne tudi skozi pokrovnost površja. S pomočjo GIS orodja smo poskušali iz obstoječe mreže površinskih vodomernih postaj določiti referenčne vodomerne postaje za količinsko stanje, oziroma postaje s kar najmanjšim vplivom človeka. Uporabili smo podatke o pokrovnosti površja, na podlagi katerih smo določili tip pokrovnosti z majhnim vplivom človeka in na tej osnovi analizirali mrežo obstoječih površinskih vodomernih postaj. 20 odstotkov površja Slovenije je primernih za postavitev referenčnih vodomernih postaj.

### KLJUČNE BESEDE

vodomerne postaje, mreža hidrološkega monitoringa, hidrogeografija, referenčne postaje, geografski informacijski sistem, pokrovnost površja, Slovenija

### ABSTRACT

#### **National water gauging stations analysis in the view of reference hydrographical conditions**

Human impacts on the environment are present also in the area of water environment, there are important quantity and quality changes. Different economic activities might have impact on environment and this can be observed also through land cover. Reference condition gauging stations are defined as stations with minimum human impacts and are abstracted from national monitoring network with GIS tools. With land use layer the type of land use with low human impacts was defined and recent water gauging stations were compared with this. 20 percent of the surface of Slovenia are useful for building of such stations.

### KEYWORDS

water gauging stations, hydrological monitoring network, hydrogeography, reference stations, geographical information system, land cover, Slovenia

## 1 Uvod

Družba s svojimi pritiski vedno bolj vpliva na naravno okolje in družbeno preoblikovanje naravnega okolja se odraža tudi na vodah, tako na njihovi količini kot kakovosti. Vzroki za spremembe so različne človekove dejavnosti, ki imajo lahko vpliv na okolje (npr. kmetijstvo, industrija). S pomočjo GIS orodja smo poskušali iz obstoječe mreže površinskih vodomernih postaj določiti referenčne vodomerne postaje, to so postaje s čim manjšim vplivom človeka v zaledju. Uporabili smo sloj pokrovnosti površja, na podlagi katerega smo določili tip pokrovnosti z majhnim vplivom človeka in na tej osnovi analizirali mrežo obstoječih površinskih vodomernih postaj.

## 2 Ozadje, utemeljitev in cilj analize

Ena izmed osnovnih dejavnosti nacionalne hidrološke službe so meritve količin vode. Na območju Slovenije potekajo redne meritve že od sredine 19. stoletja. V tistem času je bila osnovna rečna mreža le malo preoblikovana, posegi v so bili večinoma povezani s tradicionalno rabo za mlinarstvo in žagarsstvo, kar so urejali s posebnimi redi. Odvzemi vode in posegi v vodotoke so bili majhni, skozi čas pa se je raba voda vse bolj povečevala.

Obstoječa merilna mreža je nastajala postopno in iz različnih vzrokov, starih postaj pa se večinoma ni ukinjalo. Spremembe mreže vodomernih postaj so bile posledica analiz in uporabnosti podatkov posameznih mest. Državne mreže rednega spremljanja vodnih količin Slovenije se doslej večinoma ni vrednotilo kot celote. Zahteve različnih uporabnikov pa terjajo stalno pregledovanje, vrednotenje in ocenjevanje njene primernosti (Frantar, 2002a; Frantar, 2002b).

### 2.1 Zahteve Svetovne meteorološke organizacije

Za pomoč vrednotenju mreže je Svetovna meteorološka organizacija (WMO) že kmalu začela izdajati priporočila o rednem spremljanju hidroloških značilnosti voda. V smernicah zapisanih v publikaciji *Guide to Hydrological Practices* (WMO, 1994) so tako podane zahteve za načrtovanje in vrednotenje hidrološke mreže. Svetovna meteorološka organizacija po namenu razlikuje: postaje za operativne namene, regionalno reprezentativne postaje in referenčne postaje.

Referenčne postaje so priporočene za vsako naravno-geografsko regijo z namenom pridobivanja stalnih zbirk hidroloških in klimatoloških podatkov. Naravno-geografska pestrost Slovenije, kljub površinsko majhnemu območju, zato zahteva več različnih vrst referenčnih postaj. Le te naj bi bile na območjih s kar najmanjšim človekovim vplivom, v preteklosti in v prihodnosti. Take postaje potrebujejo tudi dolge opazovalne nize.

### 2.2 Zahteve Okvirne vodne direktive

Tudi Okvirna vodna direktiva (Direktiva 2000/60/ES; Nixon, 1996; Uhan et al., 2002), ki je bila v Evropski Uniji sprejeta z namenom varovanja voda in zagotavljanja dobrega ekološkega stanja, zahteva spremljanje količin in kakovosti na referenčnih vodomernih postajah vodnih teles vodotokov.

Merila, katerim morajo ustrezati referenčna mesta so: zelo dobro ekološko stanje za biološke, hidromorfološke in fizikalno-kemijske elemente in zelo majhne obremenitve, brez učinkov industrializacije, urbanizacije ter intenzivnega kmetijstva.

Osnovni cilj prispevka je z enostavno GIS analizo, iz obstoječe mreže vodomernih postaj in na osnovi dostopnih GIS podatkovnih slojev, izbrati metodo za določitev referenčnih območij in vodomernih postaj. Iz nabora postaj je potem potrebno posamično, na podlagi podrobne proučitve značilnosti v zaledju, oceniti primernost postaje kot referenčne vodomerne postaje. Ocena primernosti metode bo opisana v sklepu.

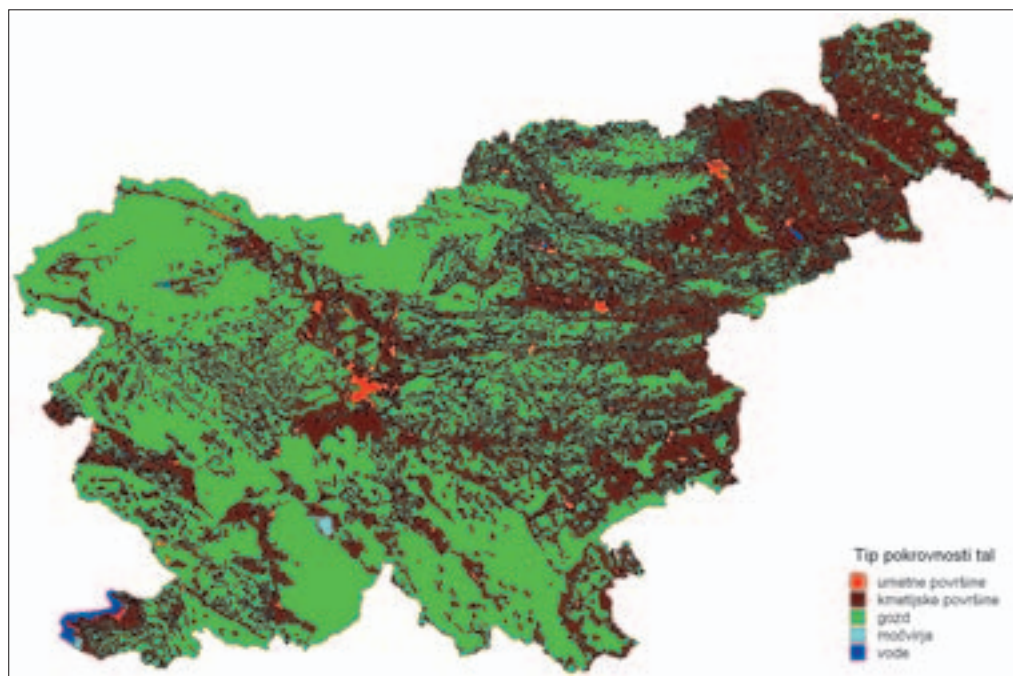
### 3 Metodologija in GIS analiza

Pri opredeljevanju človekovega vpliva na okolje smo se oprli na integralni model raziskovanja stanja okolja Evropske agencije za okolje (EEA). Metodologija DPSIR (gonilne sile – obremenitve – stanje – vplivi – odzivi) izhaja iz modela trajnostnega razvoja. V njej je vrsta vzročno posledičnih zvez med človekovimi dejavnostmi (gonilne sile), emisijami (obremenitvami), ki povzročajo določeno stanje okolja, vplivi na ekosisteme in na človekovo zdravje ter družbenimi odzivi. Ta model je mogoče uspešno preučiti s pomočjo GIS analize (EEA, 1998).

Za osnovni sloj po katerem smo opredelili človekov vpliv na površinske vode smo izbrali CORINE Land Cover 2000 (MOP, 2003) in sicer zaradi njegove dobre strokovne opredeljenosti in primerljivosti z drugimi evropskimi državami. Sloj je v merilu 1 : 100.000 in obsega 44 različnih tipov pokrovnosti, ki jih je mogoče združevati v tri ravni (EEA, 2000; ETC, 2003; Lampek Pavčnik, 2001). Na osnovi analize posameznih slojev smo razrede pokrovnosti združili v dva osnovna tipa: območja z velikim vplivom človeka in območja z majhnim vplivom človeka. Postopek smo izvedli s programoma ArcView in MapInfo tako, da smo združevali posamezna območja (14448 poligonov) z določeno pokrovnostjo v končni dve območji.

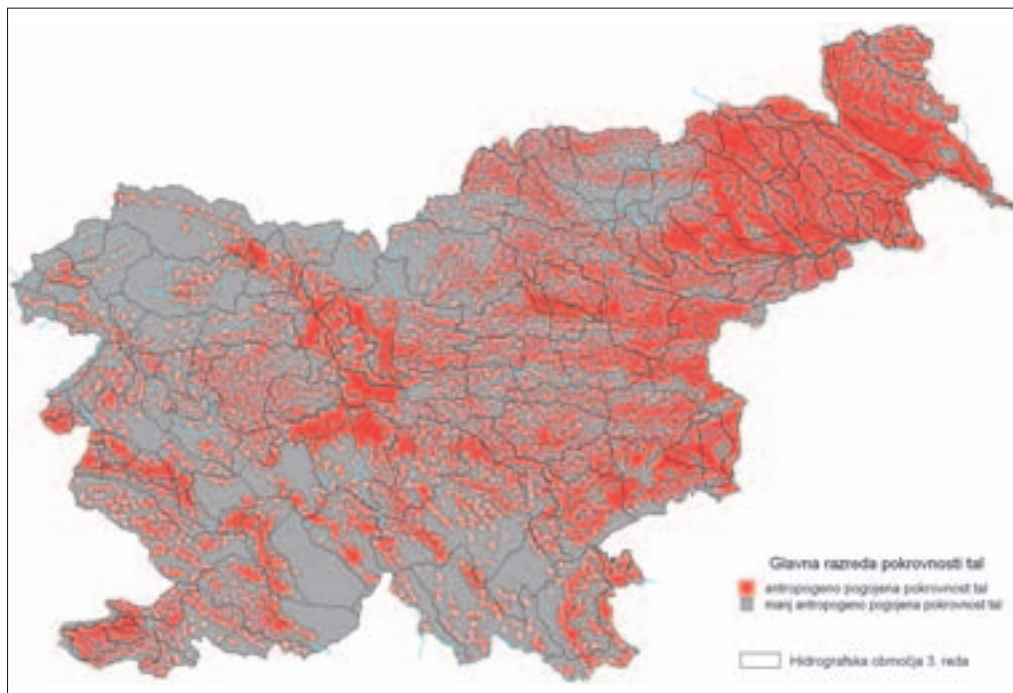
*Preglednica 1: Tipi pokrovnosti glede na intenzivnost vpliva človeka.*

intenzivnost vpliva človeka	CLC razred	opis razreda
1 – velik vpliv	1	umetne površine
	2	kmetijske površine
2 – majhen vpliv	3	gozd in deloma ohranjene naravne površine
	4	močvirja
	5	vode



Slika 1: Pokrovnost zemljišč po Corine Land Cover 2000.





Slika 2: Pokrovnost tal po CLC 2000 glede na hidrografska območja.

Opredelevanje vpliva človeka na določeno porečje je predstavljalo večji strokovni izziv. Izbrali smo 155 hidrografskih območij 3 reda v Sloveniji, ki pa ne zajemajo vsega vodozbirnega območja obstoječe rečne mreže, zlasti tistega v sosednji Avstriji. Uporabljeni sloj pokrovnosti, ki je na voljo tudi za sosednje države dopušča v nadaljevanju razširitev obdelave.

Najprej smo po posameznih hidrografskih območjih izračunali površine pokrovnosti z različnim vplivom človeka. Glede na specifično mrežno sestavo hidrografskih območij smo morali v naslednjem koraku izdelati tabelo povezav med posameznimi hidrografskimi območji. Na podlagi tabele smo izdelali programček, ki nam je pomagal sešteti vse površne vplive na hidrografsko območje. Program je bil izdelan za MS Excel, njegove rezultate pa smo potem povezali v MapInfo v geografsko bazo podatkov.

Na osnovi strokovne presoje ter različnih scenarijev vpliva smo hidrografskemu območju pripisali količnik vpliva lokalnih in vseh človekovih vplivov. Predvidevali smo, da je lokalni vpliv na območje večji in smo tako lokalnim vplivom na hidrografsko območje pripisali 80 % količnika, vsem vplivom v povirju pa 20 % količnika. Rezultate ocene vpliva smo razvrstili v 5 razredov za lažji pregled in oceno.

Ovrednotenje vodomernih postaj smo izvedli s prekrivanjem v programu MapInfo ter tako pripisali značilnosti vpliva človeka na hidrografskem območju vodomerni postaji.

## 4 Rezultati

Za zaledje vodomernih postaj z majhnim ali zanemarljivim človekovim vplivom na hidrološke parametre smo določili razred, kjer je površin z majhnim vplivom več kot 80 % vse površine. Ovrednotenje 195 delujočih vodomernih postaj (stanje 31. 1. 2006) glede na človekov vpliv je pokazalo, da je v hidrološki mreži 46 postaj ali 24 % takšnih, ki ustrezajo zahtevam referenčnih postaj na površinskih vodah.

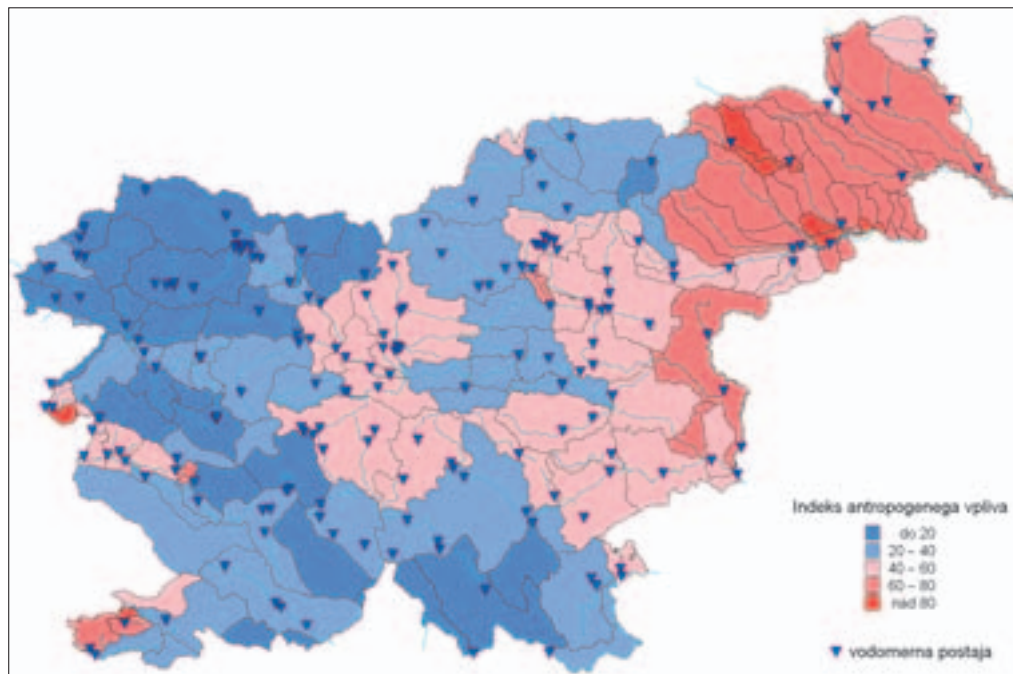
V uporabljeni metodi predstavlja glavni problem neuskkljenost hidrografskih območij in lokacij postaj. Zato smo vse dobljene referenčne postaje še individualno strokovno ovrednotili in izločili neprimerne postaje. Tako v obstoječi mreži vodomernih postaj, glede na izbrane kriterije, lahko pripišemo referenčnost le še 35 postajam ali 18 %. Te postaje se večinoma nahajajo na območju Alp, visokih kraških planot, Kočevskega ter na Pohorju (slika 3).

Preglednica 2: Območja z majhnim ali zanemarljivim vplivom človeka na vodotoke.

delež površine z majhnim vplivom	površina v km <sup>2</sup>	delež površja Slovenije
do 20	228,2	1,1
20–40	3231,88	15,9
40–60	5468,07	27,0
60–80	7040,74	34,7
nad 80	4303,1	21,2
vsota	20271,99	100,0

Analiza je pokazala, da lahko s preprosto metodo uspešno določimo območja majhnim ali zanemarljivim človekovim vplivom na vodotoke. Dobili smo območja, kjer lahko tudi postaje na večjih vodotokih štejejo za referenčne postaje (Alpe, visoke kraške planote, Snežnik, Kočevsko, Pohorje).

V Sloveniji imamo tako po hidrografskih območjih tretjega reda 4303 km<sup>2</sup> oz. dobro petino površja z majhnim človekovim vplivom in primernih za določitev referenčnih postaj z enostavno strokovno presojo. Kot je razvidno s slike 3, na vseh potencialno ugodnih območjih še ni vodomernih postaj, drugod pa jih je več skupaj. Ocenjujemo, da so velike možnosti za referenčne vodomerne postaje še na dodatni



Slika 3: Intenzivnost vplivov človeka po hidrografskih območjih in glede na vodomerne postaje.

tretjini površja – 7040 km<sup>2</sup> s količnikom 60–80 %. Vendar pa je izbiri postaj na teh območjih potrebno posvetiti temeljitejši strokovni pregled.

Razvrstitev hidrografskih območij v razrede z različnim vplivom človeka pokaže, da je izbira referenčnih postaj v bolj obremenjenih porečjih težja ter omejena na vse manjše vodotoke.

## 5 Sklep

Preizkušena metoda izbire referenčnih vodomernih postaj se je pokazala kot primerna. Dobili smo območja, kjer je izbira referenčnih postaj enostavna. Takšnega je kar petina slovenskega ozemlja in še dodatna tretjina je pogojno primerna za postavitev referenčnih vodomernih postaj, torej takšnih z majhnim ali zanemarljivim vplivom človeka. Na razpolago so dobri geografski podatkovni sloji: pokrovnost tal po CLC 2000 in vodomerne postaje. V analizi se je pokazalo, da je potrebna usklajenost med ploskovnimi ter točkovnimi tipi podatkov o hidrološki mreži.

Ugotovili smo, da so za analizo bolj primerna hidrometrična območja obravnavanih postaj. Zato predlagamo, da bi se v prihodnje ovrednotenje referenčnih postaj izvedlo s hidrometričnimi območji, saj bi tako dobili informacije o človekovem vplivu na vsako posamezno lokacijo vodomernih postaj. Glede na zahteve Okvirne vodne direktive pa bi bilo potrebno vodomerne postaje pretresti še z vidika določenih vodnih teles površinskih voda.

## 6 Viri in literatura

ARSO – Agencija RS za okolje, 2005. Kataster vodomernih postaj. Ljubljana.

ARSO – Agencija RS za okolje, 2005. Sistem za shranjevanje in obdelavo hidroloških podatkov. Ljubljana.

CORINE Land Cover 2000, Ministrstvo za okolje in prostor, GURS – ARSO, Ljubljana 2003. <http://www.geodetska-uprava.si/gu/aplik/CEPP/izpis.jsp?ID=5002>

Frantar, P., 2003: Vrednotenje ustreznosti mreže vodomernih postaj na površinskih vodotokih v Sloveniji. Geografski vestnik 75–1.

Kolbezen, M., Pristov, J. 1998: Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije. Ministrstvo za okolje in prostor, Hidrometeorološki zavod RS, Ljubljana.

WFD CIS Guidance Document No. 10 (2003). *Rivers and Lakes – Typology, Reference Conditions and Classification Systems*.

Produced by Working Group 2.3 – REFCOND. Published by the Directorate General Environment of the European Commission, Brussels.

WMO – World Meteorological Organisation, 1994: Guide to Hydrological Practices, Data acquisition and processing analysis, forecasting and other applications. WMO – No. 168, Fifth Edition.

Nixon, S. C., 1996: EEA – European Freshwater Monitoring Network Design. Topic Report no. 10/96.

Uhan, J., Dobnikar Tehovnik, M., 2002: Modernizacija mreže monitoringa voda v Sloveniji: Pregled in povzetek EU izhodišč z vidika ocenjevanja stanja površinskih in podzemnih voda. Delovno gradivo, 18/7/2002

EEA – European Environment Agency, 1998. Guidelines for Data Collection and Models, EU State of the Environment report 1998, Revised Working Draft, January 1998. Institute of Terrestrial Ecology, UK and National Environmental Research Institute, Denmark.

Direktiva 2000/60/ES Evropskega parlamenta in sveta z dne 23. oktobra 2000, ki določa okvir za delovanje Skupnosti na področju vodne politike – Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy. Redakcijska komisija MOP 9. 1. 2003.

- Frantar, P., 2002a: Mreža hidroloških postaj za površinske vode: stanje marec 2002. Agencija Republike Slovenije za okolje, 2002.
- Frantar, P., 2002b: Mreža hidroloških vodomernih postaj za površinske vode: ocena primernosti obstoječe mreže. Agencija Republike Slovenije za okolje, 2002.
- EEA – European Environment Agency, 2000. Information for improving Europe's environment. CORINE Land Cover 250 m grid – Version 12/2000 (English version 2). Medmrežje: <http://dataservice.eea.eu.int/dataservice> (9/10/2003)
- ETC – European Topic Center, Terrestrial Environment, 2003. Corine Land Cover 2000. Medmrežje: <http://terrestrial.eionet.eu.int/CLC2000> (9/10/2003)
- Lampek Pavčnik, I. 2001: Projekt CLC 2000. Corine 2000 – Mednarodna delavnica, Gozd Martuljek, 25. 10. 2001. Medmrežje: [http://nfp-si.eionet.eu.int/corine/21\\_Predlog\\_izdelave\\_CLC\\_projekta.pdf](http://nfp-si.eionet.eu.int/corine/21_Predlog_izdelave_CLC_projekta.pdf) (8/12/2003)



## BATIMETRIČNI MODEL SLOVENSKEGA MORJA

**Blaž Barborič in mag. Dalibor Radovan**

Geodetski inštitut Slovenije

Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana

blaz.barboric@geod-is.si, dalibor.radovan@geod-is.si

UDK: 551.468:659.2:004

### IZVLEČEK

#### **Batimetrični model slovenskega morja**

Gostota pomorskega prometa in aktivnosti na morju se iz leta v leto povečujejo. Povpraševanje po informacijah o globinah slovenskega morja je precejšnje: tako med raziskovalci in pomorci, kot tudi pri različnih službah. Temu primerno se povečuje tudi potreba po natančnih hidrografskega podatkih, ki so po obliki, količini in vsebini primernejši za distribucijo uporabnikom. Članek metodološko prikaže izdelavo batimetričnega modela, s posebnim poudarkom na raziskavi metod interpolacije. Naloga predstavi več različnih batimetričnega modela za različne hidrografske in nehidrografske uporabnike, z možnostjo rabe v okolju geografskih informacijskih sistemov (GIS). Tako pridobljena hidrografska baza je tudi zelo natančni celični model, ki lahko služi kot pomoč pri plovbi in ostalim aktivnostim na morju.

### KLJUČNE BESEDE

Batimetrični model, interpolacijske metode, 3D prikazi, geografski informacijski sistem

### ABSTRACT

#### **Digital bathimetric model of Slovenian sea**

The density of the sea traffic and activities at the sea are on increase every year. Therefore considerable inquiries for precise depths of the sea have been expressed from different hydrographic and non-hydrographic users. The research study describes methodology of processing the bathimetric model with special regard on research of interpolation methods. Several varieties of bathimetric model of undersea relief have been implemented. They can also be used in GIS environment. A very convenient hydrographic database for the users has been acquired at the same time. With the bathimetric model we've also got very accurate raster model that can play a significant role in safety of navigation and other activities at sea.

### KEYWORDS

bathimetric model, interpolation methods, 3D visualization, geographical information system

## 1 Uvod

Globina in morfologija morskega dna sta elementa, ki najmočneje vplivata na varnost plovbe. Slovensko morje je bilo natančno in gosto premerjeno skladno s standardi Mednarodne hidrografske organizacije (IHO, International Hydrographic Organization). Izdelane so bile pomorske karte Koprskega, Piranskega in Tržaškega zaliva, ki pa dajejo le 2D (tlorisni, ortogonalni) pogled na obliko morskega dna. Morfologija morskega dna je na karti prikazana z izobatami (linijami enakih globin) in globinskimi kotami. Dejansko razpoložljivo število globin hidrografskih meritev slovenskega morja je bistveno večje, kot je število prikazanih globin na karti. To nam omogoča, da morsko dno lahko prikazemo še natančneje, tudi v tridimenzionalni hipsometrični obliki po globinskih pasovih. Batimetrični model omogoča prikaz drugih parametrov geomorfologije morskega dna kot so npr. naklon, osvetlitev, ekspozicija, ukrivljenost in podobno. S tako natančnimi podatki je mogoč tudi prikaz mikroreliefa, tj. elementov dna, ki po dimenzijah niso večji od nekaj decimetrov do nekaj metrov.

## 2 Metodologija

Batimetrični model je izveden iz originalnih točkovnih podatkov hidrografskih meritev slovenskega morja. Izvorni podatki tvorijo t. i. raztresene točke, ki so za običajne uporabnike manj primerne. Batimetrični model je zato predelan v celično mrežo analogno kopenskemu digitalnemu modelu reliefa (DMR). Model je za celotno merjeno območje narejen v več različicah, ki se razlikujejo po širini celice, tj. po resoluciji (ločljivosti) osnovnega podatka celične mreže. Širina celice je ocenjena glede na gostoto hidrografskih podatkov in glede na želeno natančnost različice. Različice bodo služile različnim uporabnikom: od tistih, ki žele najgostejšo in najnatančnejšo mrežo do tistih, ki potrebujejo le grobo morfologijo dna morja. S tem, ko so batimetrični podatki za uporabnike pripravljeni vnaprej, se izognemo vsakokratnemu preračunavanju in generalizaciji ob posameznem naročilu.

Poseben raziskovalni problem je izbira ustrezne interpolacijske metode za aproksimacijo ploskve dna. Testirali smo več interpolacijskih metod pri različnih gostotah točkovnih podatkov.

Model je fizično omejen in geometrično presekan z novoizmerjeno obalno linijo v njeni celotni dolžini, ki brez detajlov znaša okrog 45 km, z detajli pa kar dvakrat toliko (pomoli, pristanišča, mikroreliefne oblike, obalni objekti). Batimetrični model je prikazan v izbrani projekciji 3D modela.

Nastete metode uporabljamo tudi pri kopenskem DMR, vendar ima hidrografija posebnosti, ki se odražajo v:

- referenčni ploskvi merjenja globin,
- omejitvi z obalno linijo,
- večjemu pomenu plitvin,
- izredni gostoti in standardizirani natančnosti meritev globin,
- uporabi, ki služi predvsem pomorcem (varnost plovbe),
- manjši reliefni razgibanosti.

Izdelava batimetričnega modela je potekala po naslednjem vrstnem redu:

1. proučitev hidrografskih podatkov,
2. izbor ustrezne interpolacijske metode,
3. izdelava digitalnega batimetričnega modela z različicami,
4. 3D prikazi.

## 3 Hidrografski podatki

V nadaljevanju so podrobneje analizirani hidrografski podatki s kratkim opisom izvajalcev hidrografskih meritev. Za hidrografske podatke je v nadaljevanju analizirana oblika, obseg in vir podatka,

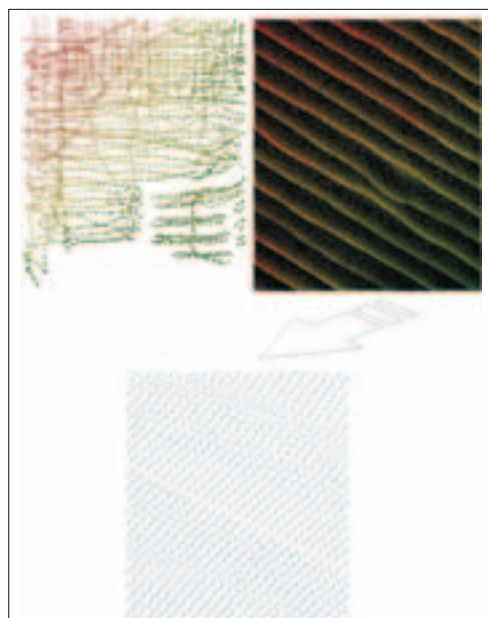
prav tako pa tudi lastništvo podatkov. Metapodatek predstavlja sloj kakovosti izmer, ki je opredeljen z merilom izmere.

Za izdelavo digitalnega batimetričnega modela (BM) slovenskega morja smo uporabili:

- Hidrografske podatke izmere ZDA – Navocean 1998 – digitalni:
  - približno 70 % slovenskega morja, v merilih hidrografskih izmer 1 : 1000, 1 : 2500, 1 : 5000 in 1 : 10 000,
  - globine merjene z enosnopnim sonarjem (single-beam sonar), datoteke ASCII, podatek: koordinati, globina,
  - podvodne ovire v datotekah ASCII, podatek: koordinati, opis, globina.
- Hidrografski podatki izmere Harpha Sea d. o. o. – digitalni:
  - Harpha 1999, Harpha 2000: priobalni pas do 200 m od obale v merilu hidrografske izmere 1 : 1000,
  - Harpha 2003: območje med rtom Seča in izlivom reke Dragonje v merilu hidrografske izmere 1 : 1000,
  - globine v datotekah ASCII, podatek: koordinati, globina.
- Hidrografski podatki skupne italijansko-hrvaško-slovenske hidrografske izmere z ladjo Mednarodne pomorske akademije iz Trsta (International Maritime Academy – IMO-IMA):
  - Piranski zaliv 2002, odprto morje do oddaljenosti 200 m od obale, zelo natančni podatki velike gostote (večsnopni sonar), izbrane globine v merilu hidrografskih originalov 1 : 1000,
  - globine v datotekah ASCII, podatek: koordinati, globina.
- Hidrografski podatki izmere Hrvaškega hidrografskega inštituta iz Splita:
  - po italijansko-hrvaško-slovenski izmeri manjkajoče ožje priobalno območje od izliva reke Dragonje do Zambratije je bilo leta 2002 hidrografsko izmerjeno v merilu 1 : 1000,
  - globine v datotekah ASCII, podatek: koordinati, globina.

Izmere so bile opravljene z enosnopnim in večsnopnim sonarjem. Večsnopni sonar pokriva pas širine okoli 30 metrov (odvisno od globine dna). Snop tvori 32 žarkov, kar pomeni, da dobimo na pasu za vsak poslani signal 32 globin (Gee, Mayer 2000). Enosnopni sonar meri globino le z enim žarkom na liniji izmere.

Vsi izmerjeni podatki so podani v obliki geografskih koordinat na elipsoidu WGS 84. So v obliki datotek ASCII (geografska dolžina  $\lambda$  v decimalnih stopinjah, geografska širina  $\varphi$  v decimalnih stopi-



*Slika 1: Točkovne lokacije vzorcev hidrografskih meritev globin z različno gostoto: levo meritve z enosnopnim, desno z večsnopnim sonarjem. Spodnja slika predstavlja povečan izsek meritev z večsnopnim sonarjem.*



njah, globina v metrih z decimetri na prvi decimalki). Pri obdelavi so bili transformirani v koordinatni sistem UTM na elipsoidu WGS 84.

Izvorni podatki o globinah so izmerjeni s centimetrsko natančnostjo. Ocenili smo, da za izdelavo batimetričnega modela zadostujejo podatki z decimetrsko natančnostjo.

Največja gostota točkovnih podatkov je na območju Piranskega zaliva. Tudi razdalje med hidrografskimi podatki meritev globin so tukaj najmanjše (manj kot 1 m).

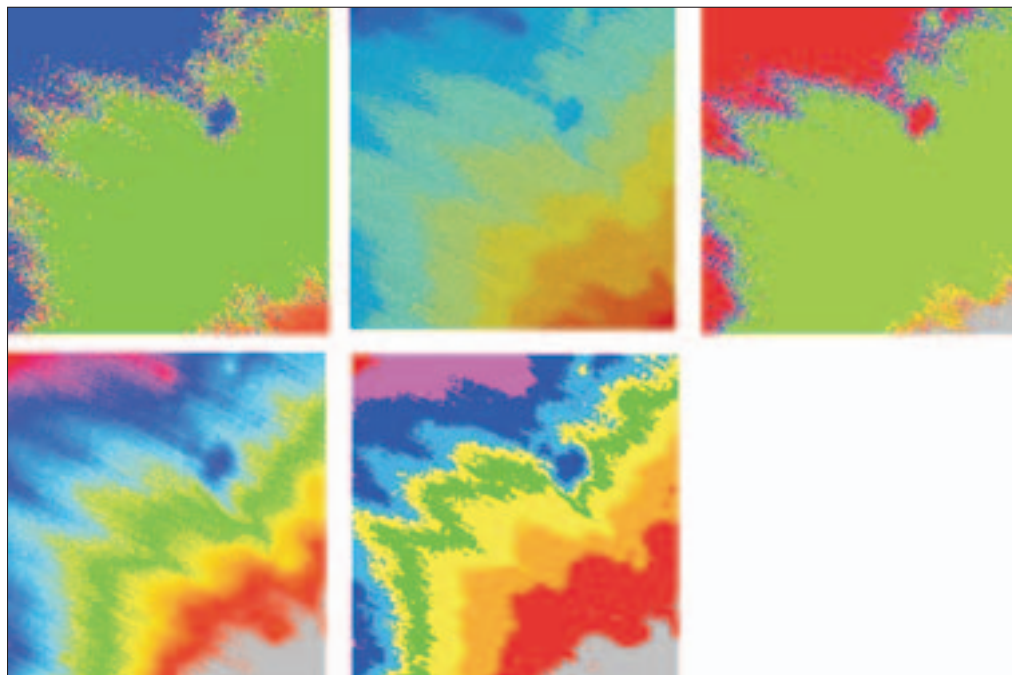
Zaradi velike količine podatkov in relativno večje rastrske celice v območju Piranskega zaliva, so bili za izdelavo BM uporabljeni razredčeni podatki v merilu 1 : 1000 (slika 1, slika 2, slika 7). Na preostalih območjih so bili uporabljeni izvorni podatki.

## 4 Izbor ustrezne interpolacijske metode

Na vzorcu hidrografskih meritev Koprškega zaliva smo preizkusili naslednje metode interpolacije:

- metoda z zlepci (spline),
- metoda z inverznimi distančnimi utežmi (IDW),
- metoda naravnih sosedov (natural neighbour),
- kriging,
- metoda nepravilnih trikotniških mrež (TIN).

Z vsako metodo interpolacije določamo ali ocenjujemo vrednosti pojava na izbranih lokacijah, ki leže med lokacijami z znano vrednostjo pojava (Wright 2000). Kakovost aproksimiranega modela plosk-



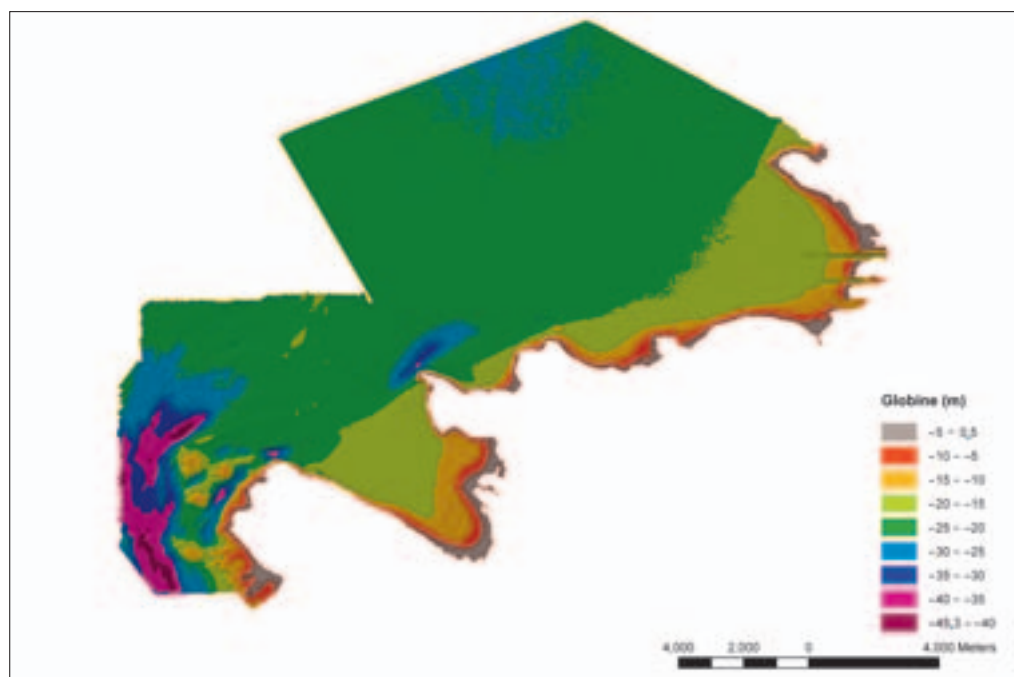
Slika 2: Batimetrični prikaz ploskev vzorca globin interpoliranih s petimi metodami. V smeri urinega kazalca od zgoraj levo: metoda z zlepci (spline), metoda nepravilnih trikotniških mrež (TIN), metoda z inverznimi distančnimi utežmi (IDW), metoda naravnih sosedov, kriging. Vse ploskve so prevedene v rastrsko obliko z velikostjo celice 1 m.

ve je odvisna od pojava, ki ga interpoliramo, razporeditve (distribucije) vzorčnih danih točk in izbire metode interpolacije. Načeloma homogenejša in gostejša razporeditev danih točk vodi k verodostojnejšemu rezultatu. Poleg naštetih metod, obstajajo tudi druge metode interpolacije. Preizkusili smo tiste metode, ki jih omogoča programska oprema ArcGIS.

Rezultati analize interpolacij vzorcev globin kažejo, da je metoda naravnih sosedov (NN) najboljša izmed tehnik interpolacije. Algoritem te metode je najprimernejši za visokokvalitetno interpolacijo podatkov globin morskega dna. Batimetrični model vzorčnih podatkov generiran s to metodo ima najmanj motenj (artefaktov) v primerjavi z drugimi metodami. Metoda TIN je zelo natančna pri velikem številu točk, vendar je pri geomorfoloških oblikah morskega dna vidna ostroroba trikotniška struktura. Omogoča interpolacijo digitalnega modela reliefa znotraj konveksnega obodnega poligona. Vendar pa območje danih globin morja ni konveksen lik, temveč območje, ki je omejeno z obalno črto slovenskega morja in z robom območja izmer. Model je zato potrebo digitalno obrezati na zaprto območje izmer, ki je proti kopnemu omejeno z novoizmerjeno obalno linijo v njeni celotni dolžini. Metoda naravnih sosedov, je bistveno hitrejša od metode TIN, vendar ne nudi možnosti interpolacije z omejitvami. Izdelani model s to metodo je nepravilen, saj interpolira tudi obsežno območje kopnega. Iz tega razloga je bil za izdelavo batimetričnega modela uporabljen model TIN.

## 5 Izdelava batimetričnega modela

Batimetrični model je izveden iz originalnih točkovnih podatkov hidrografskih meritev. Izvorni podatki tvorijo t. i. raztresene točke, ki so za praktično uporabo manj primerne. Batimetrični model je zato predelan v celično mrežo analogno kopenskemu digitalnemu modelu reliefa (DMR).



Slika 3: Model morskega dna izdelan z modelom nepravilne trikotniške mreže (TIN). (Trikotno severozahodno območje še ni izmerjeno.)

Izdelani so bili štiri batimetrični modeli:

- v sistemu UTM na elipsoidu WGS 84 z resolucijo 10 m,
- v sistemu UTM na elipsoidu WGS 84 z resolucijo 25 m,
- v državnem koordinatnem sistemu D48 v Gauss-Krügerjevi projekciji na Besslovem elipsoidu z resolucijo 10 m,
- v državnem koordinatnem sistemu D48 v Gauss-Krügerjevi projekciji na Besslovem elipsoidu z resolucijo 25 m.

Za batimetrične modele z resolucijami 25 m in 10 m smo se odločili zaradi originalnih točkovnih podatkov, ki nam omogočajo izdelavo modelov s takšnimi resolucijami in zaradi uporabe batimetričnega modela pri spojitvi s kopenskim DMR (InSAR DMV 25).

Metodologija izdelave BM v koordinatnem sistemu UTM na elipsoidu WGS 84:

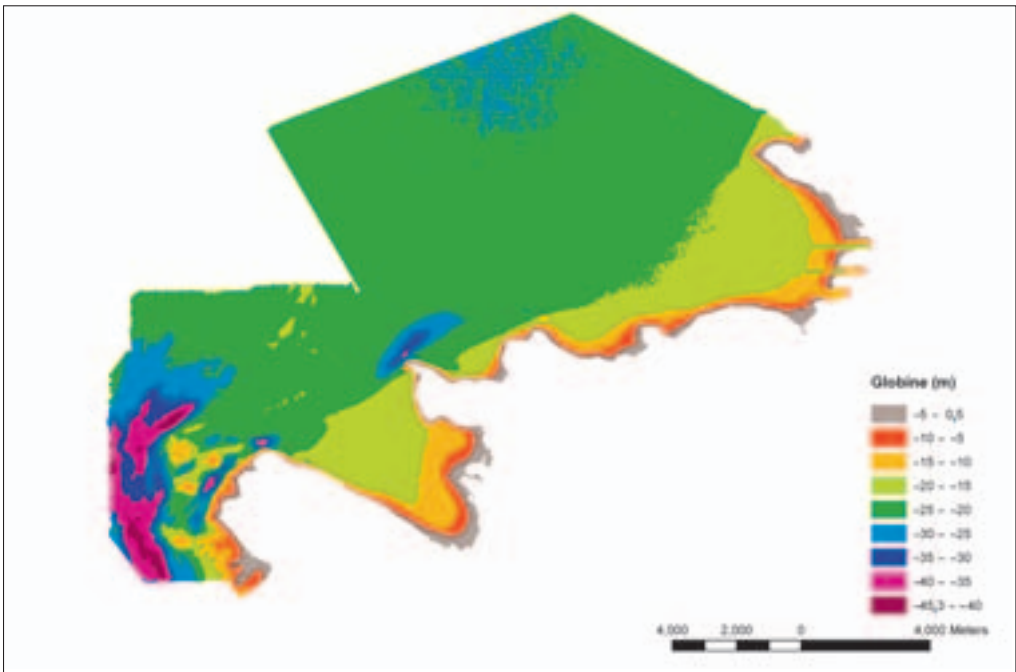
- pretvorba izvornih podatkov iz  $(\varphi, \lambda)$ WGS 84  $\rightarrow$   $(y, x)$ UTM/WGS 84,
- interpolacija raztresenih točk  $(y, x)$ UTM/WGS 84 v 10 m mrežo  $(y, x)$ UTM/WGS 84,
- interpolacija raztresenih točk  $(y, x)$ UTM/WGS 84 v 25 m mrežo  $(y, x)$ UTM/WGS 84.

Metodologija izdelave BM v koordinatnem sistemu Gauss-Krügerjeve projekcije na Besslovem elipsoidu:

- pretvorba izvornih podatkov iz  $(\varphi, \lambda)$ WGS 84  $\rightarrow$   $(y, x)$ Gauss-Krüger/Bessel,
- interpolacija raztresenih točk  $(y, x)$ Gauss-Krüger/Bessel v 10 m mrežo  $(y, x)$ Gauss-Krüger/Bessel,
- interpolacija raztresenih točk  $(y, x)$ Gauss-Krüger/Bessel v 25 m mrežo  $(y, x)$ Gauss-Krüger/Bessel.

Slika 3 prikazuje batimetrični model, izdelan s TIN metodo. Na severnem delu BM je vidna groba, stopničasta ploskev modela TIN. Ta značilnost je posledica redkih točkovnih podatkov hidrografskih meritev. Razmiki med izmerjenimi vrednostmi točkovnih podatkov so približno 100 m.

Celični digitalni model reliefa je videti bolj gladek in naravnejši ter je zaradi enostavne topološke strukture mreže homogen (Oštir, 1997). Model TIN pa je geometrično in topološko nehomogen, zato je vektorski model TIN pretvorjen v enostavnejši celični DMR (slika 4).

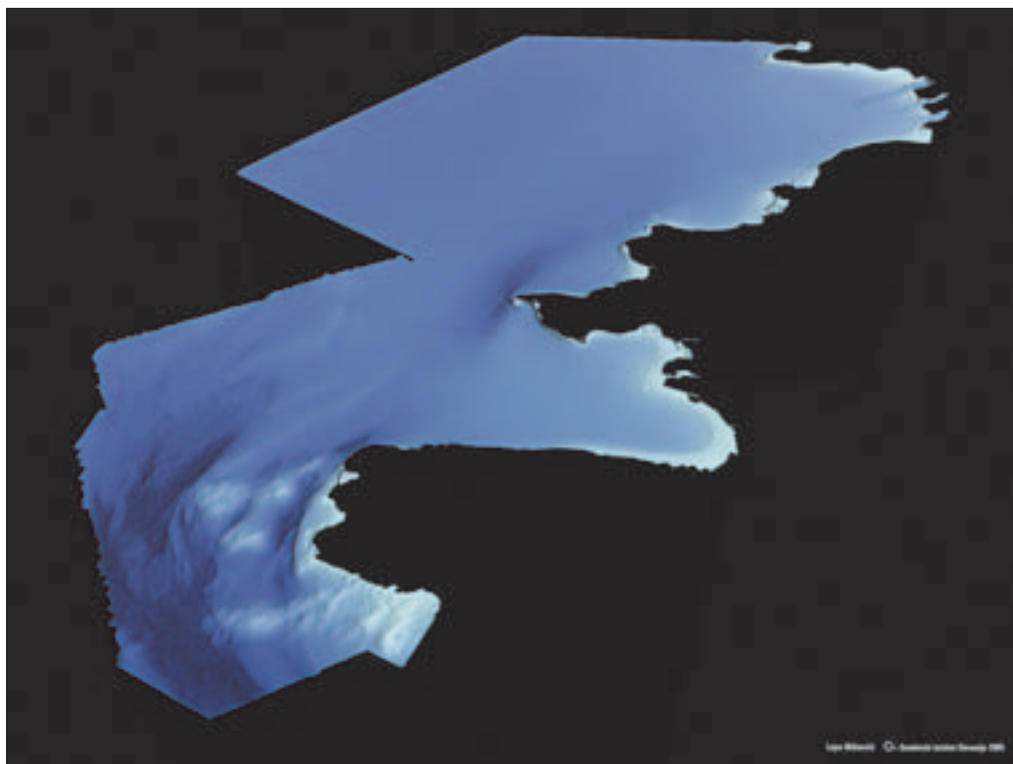


Slika 4: Celični model globin morskega dna, izdelan iz modela nepravilne trikotniške mreže (TIN).

Za celični podatkovni model smo se odločili, ker ga večina uporabnikov uporablja za opis geografskih pojavov v prostoru. Tudi za prikaz DMR, površinske analize in generalizacijo podatkov se uporablja večinoma celični GIS. Poleg tega je celični model lažje tolmačiti, predstavljati in uporabljati.

## 6 3D prikaz batimetričnega modela

Batimetrični model, ne glede na različico, lahko prikazujemo v celoti ali po delih v 3D projekciji (aksonometriji ali perspektivi) (Moore, 1991). Obsega tudi območje hrvaškega morja zahodno od Savudrijskega polotoka. V izbrani 3D projekciji je posebno lepo izražen prav bolj razgiban relief morskega dna ob Savudrijskem polotoku. Če prikazujemo celo območje hkrati, posameznih celic ne moremo ločiti.

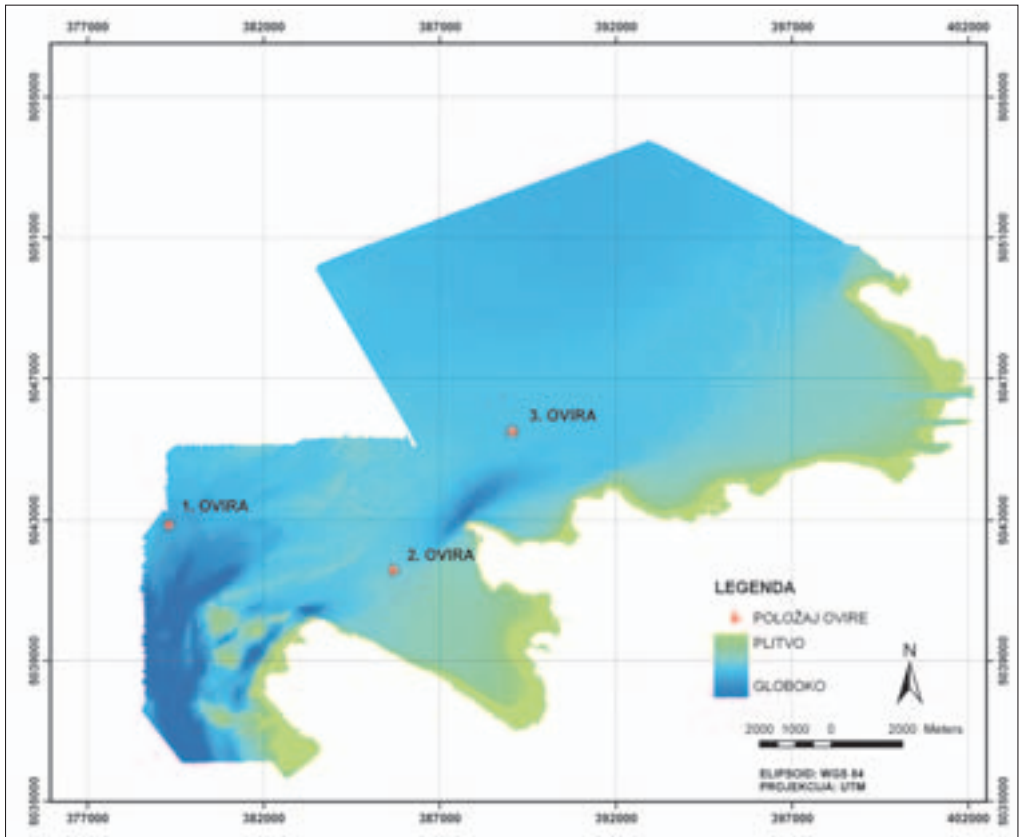


Slika 5: 3D prikaz batimetričnega modela slovenskega morja.

### 6.1 Ovire na morskem dnu

Ovire na morskem dnu so bile izmerjene z večsnopnim sonarjem s strani Mednarodne pomorske akademije IMA iz Trsta v okviru izmere morskega dna Piranskega zaliva leta 2002. Izmerjene so bile tri lokacije ovir (slika 6). Lokacije ovir so podane v geografskih koordinatah na elipsoidu WGS 84, v pravokotnih ravninskih koordinatah sistema UTM na elipsoidu WGS 84 in v pravokotnih ravninskih koordinatah Gauss-Krügerjeve projekcije na Besslovem elipsoidu.

Izmerjene so bile z gostejšo mrežo točk kot ostalo območje (slika 7). Te gostejše meritve so bile vključene v mrežo razredčenih izmerjenih globin morskega dna. Pri interpolaciji vseh točkovnih podatkov



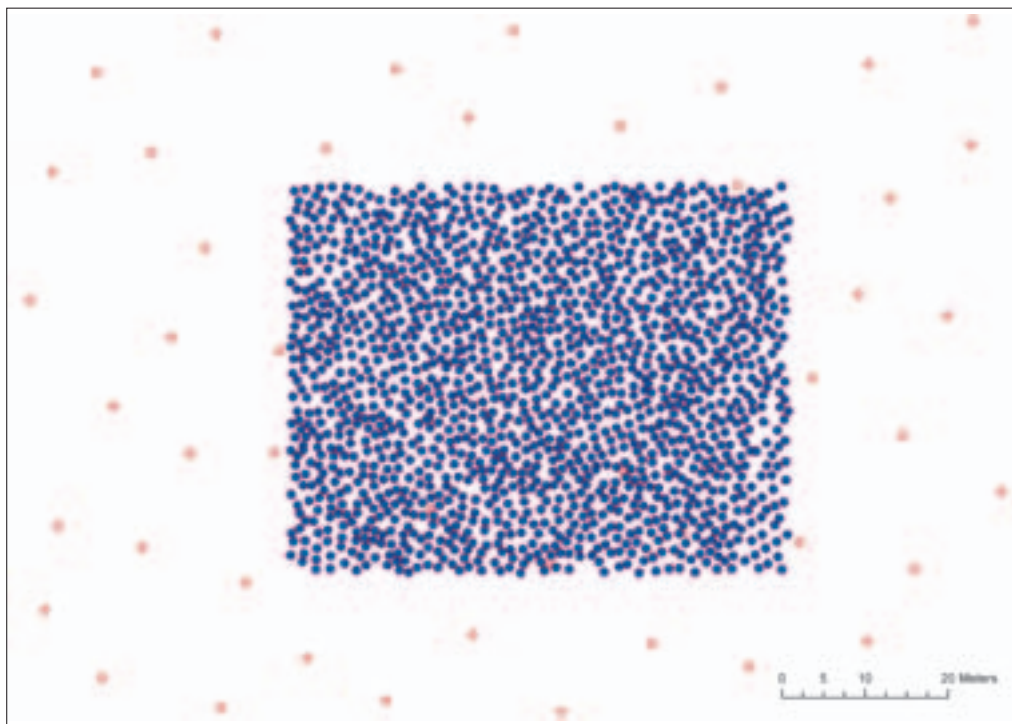
Slika 6: Ovire na morskem dnu, izmerjene z večsnopnim sonarjem.

hidrografskih meritev, ovire v celičnem modelu niso izražene tako očitno kot pri modelu TIN, ki obravnava vse razpoložljive točke. Tudi v 3D projekciji celičnega modela ne izstopajo iz ploskve. Ovire na morskem dnu so zato prikazane z vsemi razpoložljivimi točkami ločeno v lokalnem izrezu, v BM pa so prikazane z enako celično gostoto, kot ostala območja.

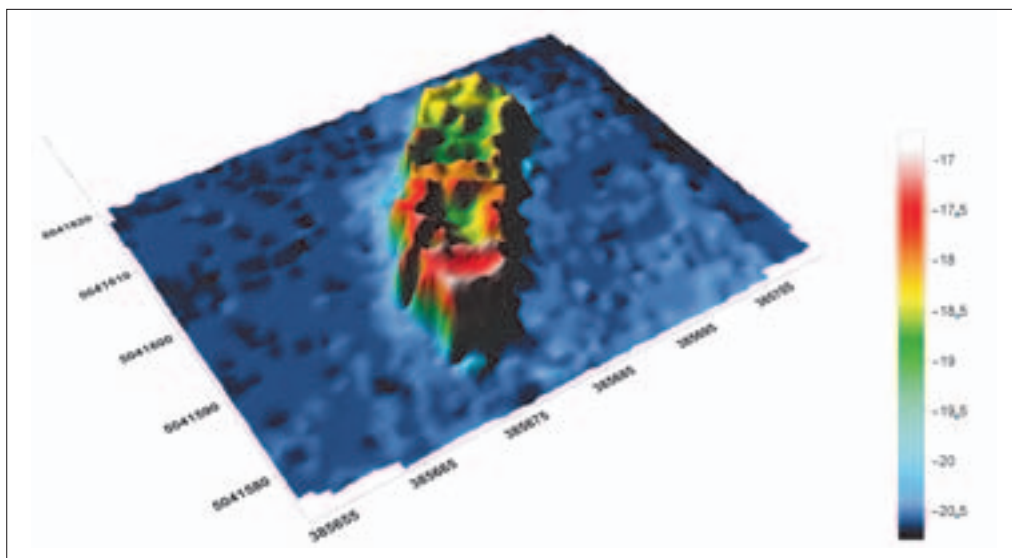
## 7 Sklep

Raziskovalna naloga metodološko prikazuje izdelavo batimetričnega modela slovenskega morja s poudarkom na raziskavi in izboru interpolacijske metode za aproksimacijo ploskve dna in izboru koordinatnega sistema ter resolucije rastrskega modela. Interpolacijska metoda je bila določena na osnovi analize na vzorcih hidrografskih izmer globin z različno gostoto. Pri izboru sta bila poleg rezultatov analiz pomembna dejavnika zmogljivost in lastnosti razpoložljivih programskih orodij, ki omogočajo interpolacijo izmerjenih točkovnih podatkov hidrografskih meritev.

Naloga predstavi več različic batimetričnega modela podmorskega terena za različne hidrografske in nehidrografske uporabnike, tudi z možnostjo rabe v okolju geografskih informacijskih sistemov (GIS). Pri izdelavi naloge smo stremeli k temu, da bo batimetrični model zanimiv za čim večje število uporabnikov. Različice se razlikujejo po širini celice, tj. po resoluciji (ločljivosti) celične mreže in po koordinatnem



Slika 7: Gostota točkovnih hidrografskih meritev je v mreži redčenih izvornih podatkov največja v območju ovir na morskem dnu Piranskega zaliva.



Slika 8: 3D vizualizacija ovire (potopljene ladje) na morskem dnu Piranskega zaliva z batimetričnim prikazom v projekciji.

sistemu. S tem smo batimetrične podatke za uporabnike pripravili vnaprej, tako pa smo se izognili vsakokratnemu preračunavanju in generalizaciji ob posameznem naročilu. Pridobljena hidrografska baza je tudi zelo natančni celični model, ki lahko služi kot pomoč pri varni plovbi in ostalim uporabnikom pri vsakdanjih operativnih in tudi razvojnih nalogah.

Prikaz ploskve kopenskega in podvodnega reliefa omogoča nadaljnje študije in operativna dela v priobalnem pasu. Model je fizično omejen in geometrično presekan z novoizmerjeno obalno linijo v njeni celotni dolžini, ki brez detajlov znaša okrog 45 km, z detajli pa kar dvakrat toliko (pomoli, pristanišča, mikroreliefne oblike, obalni objekti). Končno je batimetrični model prikazan v izbrani projekciji 3D modela.

## 8 Viri in literatura

- Gee, L., Mayer, L. 2000: Interactive 3D visualisation, an important element of multibeam sonar processing, *Hydro Int.*, 8/2000.
- Ingham, A. E. 1992: *Hydrography for the surveyor and engineer*. Blackwell Scientific Publications.
- Kvamme, K., Oštir, K., Stančič, Z., Šumrada, R. 1997: *Geografski informacijski sistemi*. Ljubljana.
- Wright, D., Bartlett, D. 2000: *Marine and Coastal Geographical Information Systems*. ZDA.

## VLOGA NAVTIČNEGA VODNIKA SLOVENSKEGA MORJA IN POMORSKIH PUBLIKACIJ ZA PRIOBALNI GIS

**Matija Klanjšček, Igor Karničnik in mag. Dalibor Radovan**

Geodetski inštitut Slovenije

Jamova 2, 1000 Ljubljana

matija.klanjscek@geod-is.si, igor.karnicnik@geod-is.si, dalibor.radovan@geod-is.si

UDK: 656.618:659.2(497.4)

### IZVLEČEK

#### **Vloga navigacijskega vodnika slovenskega morja in pomorskih publikacij za priobalni GIS**

Predstavljene so slovenske pomorske publikacije, s poudarkom na prvem uradnem Navigacijskem vodniku slovenskega morja in obale. Skupaj z drugimi pomorskimi publikacijami (IALA, Popis svetilnikov in boj, Popis podvodnih razbitin, Tablice plimovanja) je vodnik vir preverjenih položajnih in drugih podatkov o objektih na morju, morskem dnu in obali, ki jih lahko skupaj s pomorskimi in topografskimi kartami uporabimo kot osnovo za priobalni GIS. Prostorski podatki, ki so v vodniku tudi kartografsko upodobljeni, se nanašajo na najpomembnejše vidike varne plovbe (podatki o globinah, ovirah za plovbo, obalni črti, pristaniščih in sidriščih), vsebujejo pa tudi druge, za strokovnjake, ki se ukvarjajo z morjem, pomembne informacije (shema ločene plovbe, zavarovana območja na morju in v priobalnem kopenskem pasu, kopališča ipd.).

### KLJUČNE BESEDE

hidrografija, pomorske publikacije, navigacijski vodnik, pomorska kartografija, navigacija, priobalni GIS

### ABSTRACT

**The role of the sailing directions of the Slovenian sea and of the nautical publications for a coastal GIS**  
Slovenian nautical publications with the emphasis on the first official Sailing Directions of the Slovenian Sea and its coast are presented. Together with other nautical publications (IALA – List Of Lights, Underwater Shipwrecks Register, Tide Tables), the Sailing Directions are the source of reliable positions and other data about the objects at sea, on the sea floor, as well as on the coast. These publications can be, together with nautical and topographical charts used as the basis for a coastal GIS. In the Directions spatial data are cartographically represented, and they refer to the most important points of safe navigation concerning data about depth, different obstacles at sea, coastline, ports, anchorages. Also other important information for maritime and nautical experts, such as the traffic separation scheme, protected areas at sea and on the coastline, seaside resorts etc., is included in it.

### KEYWORDS

hydrography, nautical publications, sailing directions, nautical cartography, navigation, coastal GIS



## 1 Uvod

Z naraščajočo potrebo po sistematičnem urejanju podatkov, vezanih na geografsko, politično, ekonomsko ali drugače pomemben prostor, se vedno hitreje razvijajo tudi ustrezni informacijski sistemi, ki na enem mestu vse te podatke združujejo ter hkrati nudijo vsa potrebna orodja (in znanja) za upravljanje z njimi. Le na učinkovit način organizirani podatki so lahko dobro informacijsko jedro za izvajanje različnih strategij razvoja, izrabe ali varovanja določenih območij. Človekova dejavnost je direktno ali pa posredno posegla že v skoraj vsak kotiček našega planeta. Najmočneje se to odraža prav na pomembnih stičiščih različnih vrednot in lastnosti prostora, kjer posamezni dejavniki vsak zase ter medsebojno močno vplivajo na njegovo kvaliteto. Priobalna področja svetovnih morij so prav gotovo tak prostor, kjer se prepletajo lastnosti in vplivi treh različnih, a vseeno močno povezanih okolij, kopnega, morja in atmosfere nad njima (Barlett 1999). Če so elementi prostora na kopnem nekoliko lažje obvladljivi, pa to za morski prostor ne velja več popolnoma – s svojo spremenljivostjo in velikokrat oteženo dostopnostjo predstavljajo izziv raziskovalcem ter drugim strokovnjakom in vsakdanjim uporabnikom morskega in podmorskega prostora.

Sprejem Resolucije o pomorski usmeritvi Republike Slovenije (medmrežje) daje temu področju poseben pomen in naloge. Sama opredelitev Slovenije kot pomorske države še zdaleč ne bi bila dovolj, zato je treba njeno vsebino ustrezno uveljavljati v praksi. Potrebno je spremljanje in priprava pomorske zakonodaje ter nepretrgan razvoj pomorske, hidrografske in nadzorne dejavnosti. Slovenija je članica Mednarodne pomorske organizacije (International Maritime Organization, IMO) in Mednarodne hidrografske organizacije (International Hydrographic Organization, IHO). Kot članica IMO je tudi podpisnica večine mednarodnih konvencij, ki nastajajo in se redno dopolnjujejo pod okriljem te organizacije. Zaradi zagotovitve varnosti plovbe smo bili kmalu po osamosvojitvi soočeni z dejstvom, da je potrebno naše morje ponovno premeriti in kartirati (Radovan et al. 2000). Tako smo se prvič začeli načrtno ukvarjati s hidrografijo, stroko, ki opisuje in meri plovni del zemeljskega površja ter pripadajoča obalna območja, s posebnim poudarkom na navigaciji (IHO 1990).

## 2 Slovenske pomorske karte in publikacije

Hidrografska dejavnost v Sloveniji se je začela leta 1997 z ustanovitvijo Direktorata za pomorstvo, ki je bil v sedanji obliki ustanovljen v okviru Ministrstva za promet in zveze (medmrežje). Leta 1998 je bila opravljena sodobna hidrografska izmera slovenskega morja, rezultat katere je bila junija 1999 izdana prva slovenska pomorska karta Koprski zaliv 01. Tej karti sta v letih 2000 in 2001 sledili dve publikaciji: IALA – Sistem pomorskih oznak ter Kartografski ključ znakov in krajšav na slovenskih pomorskih kartah. Leta 2003 je bila izdelana elektronska navigacijska karta (Electronic Navigational Chart, ENC) Koprski zaliv. Leta 2004 je sledila druga slovenska pomorska karta Piranski zaliv 02, izdelan pa je bil tudi digitalni batimetrični model dna slovenskega morja. Z lanskim letom so celoto slovenskih pomorskih kart in publikacij zaključile še mednarodna različica karte Koprski zaliv INT 3469, tretja pomorska karta Tržaški zaliv 03, zbirka Slovensko morje – male karte ter Navtični vodnik slovenskega morja in obale (slika 1). Navedene projekte je za Ministrstvo za promet izdelal Geodetski inštitut Slovenije ([www.geod-is.si](http://www.geod-is.si)).

Z izvajanjem hidrografskih meritev ter v nadaljnjem procesu nastajanja vseh omenjenih kart in publikacij, so bili pridobljeni številni geolocirani podatki, vezani na objekte neposredno na morju, morskem dnu in v kopenskem delu priobalnega prostora Slovenije. Ti podatki se nanašajo na globine morja, plovne poti, navigacijske objekte, obalno črto ipd. in so pomembni predvsem za zagotavljanje varne plovbe, hkrati pa predstavljajo koristen vir informacij tudi vsem ostalim uporabnikom morskega prostora. Velik del teh podatkov je bil ustrezno vključen v dosedanjih izdelkih hidrografske dejavnosti, prav tako veliko pa jih je na razpolago v hidrografskem arhivu in bazah, ki se v digitalni



Slika 1: Naslovnica navigacijskega vodnika.

obliki sprotno gradijo in vzdržujejo (popis svetilnikov in boj, podvodnih razbitin, plovnih poti, območij prepovedane plovbe in gospodarske izrabe morja, zavarovanih morskih območij, območij kopalnih voda ipd.).

### 3 Navigacijski vodnik slovenskega morja in obale

Navigacijski vodnik slovenskega morja in obale je prva tovrstna uradna publikacija v Sloveniji, ki na enem mestu združuje večino potrebnih in koristnih podatkov v zvezi s pomorstvom in navigacijskim turizmom (Klanjšček et al. 2005a). Vodnik podaja informacije o slovenskem morju in obali, ki se nanašajo na geografske, oceanografske in meteorološke podatke. Zbrani in povzeti so pomembnejši predpisi in drugi upravni akti, ki urejajo področje pomorstva in navigacijskega turizma v Sloveniji. Predstavljene so osnove navigacije ter znanj in veščin, potrebnih za prijetno in varno plovo. Prvič so v celoviti in enotni obliki predstavljena pristanišča in sidrišča slovenske obale. Podani so ustrezni opisni podatki, največjo vrednost pa predstavlja kartografska in fotografska predstavitev slovenskega morja in obale, ki je nastala na podlagi natančnih in sistematičnih hidrografskih in geodetskih meritev v zadnjem obdobju. Prav hidrografija kot mlado in hitro razvijajoče se samostojno področje dela in raziskav je pripomogla k hitremu in kvalitetnemu širjenju znanja, pridobivanja podatkov o morju, morskem dnu in morskimi obali ter drugih z morjem povezanih vsakodnevnih procesih. Čeprav je slovensko morje glede na druga plovna področja sosednjih držav in širom po svetu relativno majhen (navzven odprt) akvatorij, pa s svojo raznolikostjo vseeno zahteva ustrezno poznavanje prostora in pomembnih predpisov. Tako je vodnik v prvi vrsti namenjen vsem uporabnikom morskoga prostora Slovenije, ki se z navigacijskimi vsebinami srečujejo ne toliko po profesionalni plati, temveč predvsem v vsakodnevnem ali sezonskem, rekreacijskem in dopustniškem udejstvovanju.



Slika 2: Izgled notranje strani vodnika.

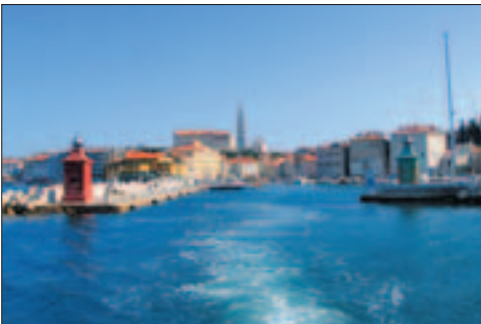
Vsebinsko jedro navigacijskega vodnika je bogato zapolnjeno z ustreznimi informativnimi in detajlnimi kartografskimi predstavitevami, fotografijami in tabelami (slika 2). Razdeljeno je na pet večjih sklopov oziroma poglavij: splošni del, pomembnejši predpisi in obvestila, osnove navigacije, pristanišča in sidrišča slovenske obale ter priloge. Splošni del vodnika vsebuje uvodna pojasnila uporabniku, splošne geografske podatke področja slovenskega morja, Tržaškega zaliva in širšega priobalnega pasu, hidrografske in oceanografske podatke (morska obala, globine, morsko dno, gibanje morja, temperatura, slanost in gostota morja), ter meteorološke podatke. Poglavje Pomembnejši predpisi in obvestila se nanaša na območje teritorialnega morja in notranjih morskih vod. Vsebuje opise pomorsko-upravnih organov in pomembnejših predpisov, predstavljena so območja prepovedane in omejene plovbe, pravila s področja varnosti pomorskega prometa, pravila in zahteve pomorske radijske službe, postopki ukrepanja v primeru nesreče na morju in reševanja, ter predpise s področja športnega ribolova in potapljanja.

Poglavje Osnove navigacije opisuje splošna znanja, potrebna za varno in učinkovito navigacijo, opisan je sistem pomorskih kart Slovenije, sistem pomorskih oznak IALA, ter podrobneje predstavljena uporaba GPS v navigaciji. Povsod, kjer je potrebno, so vsebine posameznih poglavij dodatno pojasnjene z ustreznimi diagrami in kartografskimi prikazi. Večina teh preglednih in informativnih kart je prikazanih shematsko z namenom, da se uporabnik okvirno orientira in seznanji z značilnostmi tega geografskega področja. Seznam dopolnilnih kartografskih vsebin je sledeči (Klanjšček et al. 2005c):

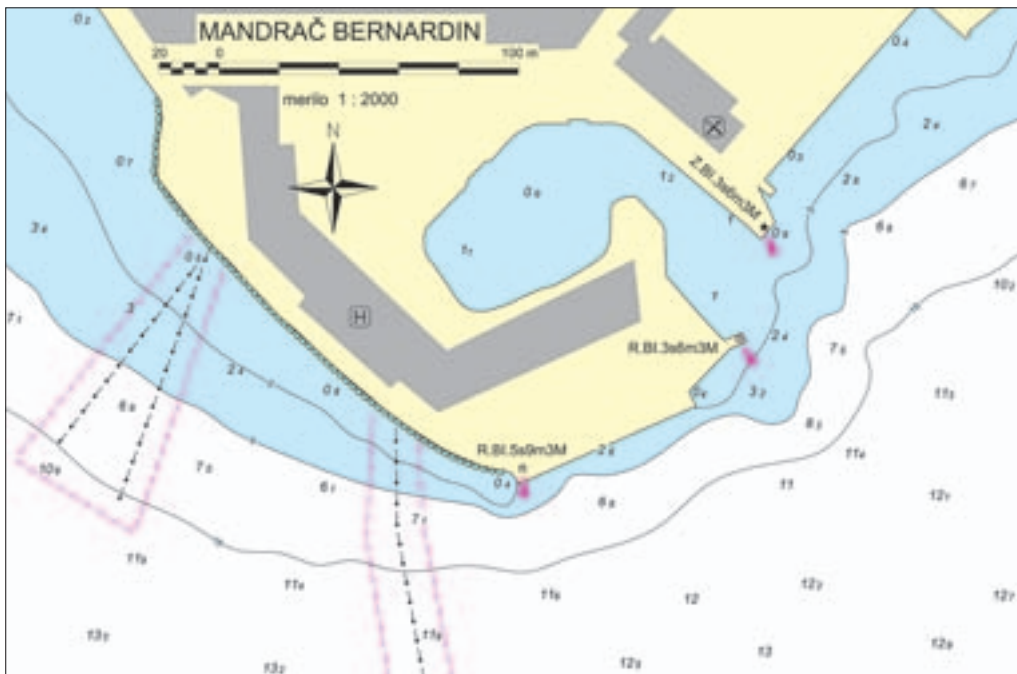
- karta Sredozemlja,
- karta severnega Jadrana,
- karta Tržaškega zaliva s skico morskih tokov,
- batimetrična karta slovenskega morja,
- sedimentološka karta slovenskega morja,
- območja prepovedane in omejene plovbe,
- območja prikazov navigacijskih in detajlnih pomorskih kart,

- dve karti območij prikazov detajlnih kart pristanišč in sidrišč,
- meteorološke karte področja Evrope s shematskim prikazom reprezentativnih sinoptičnih situacij ob razvoju tipičnih vetrov in njihovih različnih pojavnih oblik na področju Jadrana,
- IALA – delitev svetovnih morij na coni A in B,
- IALA – prikaz navigacije podnevi in ponoči.

Poglavje Pristanišča in sidrišča slovenske obale predstavlja vsebinsko jedro navigacijskega vodnika. V začetku je podan opis obale slovenskega morja in njenih značilnosti. V nadaljevanju pa so zbrani podrobnejši opisi posameznih večjih pristanišč, mejnih prehodov za mednarodni pomorski promet in marin (opisi privezov, podatki o infrastrukturi in navigacijskih objektih, opisi dostopov do pristanišč). Dodani so tudi najnujnejši podatki za ostala lokalna pristanišča in sidrišča ožjega pomena. Prav vseh 28 v vodnik vključenih pristanišč in sidrišč pa je predstavljenih z detajlnimi kartami velikih meril (1 : 1500 do 1 : 5000), ki vsebujejo vse potrebne podatke za varno plovbo v neposredni bližini obale.



Slika 3: Vhod v mestno pristanišče Piran (foto: M. Klanjšček).



Slika 4: Primer detajlne karte v navigacijskem vodniku

Za podrobnejše pojasnilo glavnih vsebin detajlnih kart je potrebna uporaba pregleda kratic in kartografskih znakov (Kartografski ključ znakov in krajšav na slovenskih pomorskih kartah). Na detajlnih kartah so uporabljeni nekateri dodatni znaki, ki so predstavljeni na notranjih straneh zavihkov platin vodnika. Kot dopolnilna informacija so za vsa pristanišča in sidrišča vključene tudi ustrezne fotografije dostopov (slika 3), navigacijskih objektov in za orientiranje pomembnih delov obale.

Detajlne karte pristanišč in sidrišč so nastale na podlagi natančnih hidrografskih meritev (globin morja, obalne črte, položajev svetilnikov, boj in drugih navtičnih objektov) in na podlagi drugih virov topografsko-kartografskega sistema Geodetske uprave Republike Slovenije. Detajlne karte so primerne za mikronavigacijo v najožjem priobalnem pasu, v kombinaciji z drugimi pomorskimi navigacijskimi kartami. Hidrografski in topografski objekti, prikazani na detajlnih kartah, so naslednji (Klanjšček et al. 2005c): obalna črta, globine morja, izobate, objekti in naprave za navigacijo, podvodne in površinske ovire, podvodne cevi, plovne poti, pomembni pristaniški in drugi objekti, zemljepisna imena, topografska vsebina na knopem, pojasnila in dodatki (slika 4).

Glede na zahteve mednarodnega standarda za izdelavo pomorskih kart je bil tudi za izdelavo detajlnih kart pristanišč in sidrišč kot referenčni elipsoid uporabljen elipsoid WGS 84. Vsem za navigacijo pomembnim objektom je določen natančen položaj v izbranem koordinatnem sistemu (v obliki geografskih koordinat na elipsoidu WGS 84). Ta omogoča neposredno uporabnost navigacije z GPS. Izbrana je Mercatorjeva projekcija, zaradi številnih prednosti, ki jih ima za pomorstvo. Vse globine na kartah se nanašajo na srednji nivo nižjih nizkih vod živih morskih men (Mean Lower Low Water Springs, MLLWS), imenovanem hidrografska ničla, ki je 0,63 m pod srednjim nivojem morja. Višine na kartah se nanašajo na srednji nivo morja. Pomembne višine so višinske točke (kote) terena ter višine signalov, svetilnikov in boj na morju (Klanjšček et al. 2005b).

Opisi pristanišč in sidrišč si sledijo v zaporedju od skrajnega severnega dela slovenske obale v smeri od severa proti jugu, to je od zaliva Sv. Jernej ob slovensko-italijanski meji vse do majhnega pristana Soline ob izlivu reke Dragonje v Sečoveljskem zalivu. Opisi so zasnovani za skupno uporabo z detajlnimi kartami, ki velikokrat nudijo vse bistvene informacije že v kartografski obliki. Navtični podatki in opisi pristanišč in sidrišč, vključenih v vodnik, so nastali na podlagi različnih virov, od primarnih (terenke meritve in ogledi, podatki in pripombe s strani Uprave RS za pomorstvo in lokalnih upravljavcev pristanišč, delno osebne izkušnje avtorjev in drugih poznavalcev prostora) do sekundarnih pisnih virov. Predvsem so to tuji navtični vodniki, ki deloma pokrivajo področje (angleške, ameriške in hrvaške publikacije), geografski atlas in krajevni leksikon. V želji po čim boljši kakovosti podatkov in njihovi sodobnosti je vodniku priložen tudi obrazec za sporočanje morebitnih popravkov, ki bi jih amaterski pomorščaki opazili med plovbo (Klanjšček et al. 2005a).

## 4 Pomen vsebin navtičnega vodnika za priobalni GIS

Iz napisanega je razvidno, da se v našem hidrografskem arhivu in bazah zbira velika količina prostorskih podatkov, vezanih na morje. Prerez oziroma zgoščeni del teh podatkov je v kartografski, tabelarični in pisni obliki podan v Navtičnem vodniku slovenskega morja in obale. Njihova uporabnost pa je še mnogo širša in večja, predvsem v obliki ustreznega povezovanja prostorskih podatkov o objektih z njihovimi lastnostmi, vse skupaj združeno v obliki ustreznega priobalnega sistema GIS. Tako so lahko obstoječi, na korekten način pridobljeni in položajno preverjeni prostorski podatki kakovosten vreden podatek za izgradnjo ali celovitega geografskega informacijskega sistema slovenskega priobalnega pasu, ali pa kot primaren vir prostorskih podatkov za izvajanje posameznih GIS-analiz. Ker je morsko in priobalno območje dinamičen in hitro spreminjajoči se prostor, tako zaradi naravnih vplivov kakor tudi zaradi vedno pogostejših posegov človeka, je nujno potrebno sprotno preverjanje in posodabljanje prostorskih podatkov. Intenzivne aktivnosti na področju hidrografije v zadnjih letih ter tudi formalno zahtevane potrebe po natančnem vodenju in vzdrževanju hidrografskih podatkov (predvsem zaradi zagotavljanja varne plovbe), so dobro zagotovilo kakovosti le-teh.

## 5 Povezljivost geolociranih podatkov z navigacijskimi sistemi

Z razvojem informacijske tehnologije se izboljšujejo tudi navigacijski sistemi na plovilih. Vedno bolj so razširjene elektronske navigacijske karte (Electronic Navigation Chart, ENC), ki omogočajo uporabo podatkov merjenj položaja plovila z GPS. Elektronska pomorska karta sicer lahko nastopi v dveh različicah – v vektorski obliki kot ENC, ki predstavlja del posebnega elektronskega navigacijsko-informacijskega sistema (Electronic Chart Display and Information System, ECDIS) ali v rastrski obliki (Raster Navigational Chart, RNC). ENC ni le v digitalno obliko prepisana pomorska karta, saj se od nje razlikuje po številnih lastnostih. V povezavi z ECDIS jo nekateri že danes enačijo z dinamičnim GIS-sistemom, delujočim v dejanskem času, kar je ob integraciji dodatnih hidrografskih, meteoroloških in drugih slojev resnično njegov domet v prihodnosti (Radovan et al. 2000).

Strojna in programska oprema za uporabo vektorske različice karte je draga in zato ekonomsko sprejemljiva le za največje ladje. Prav tako so mednarodni standardi IHO in IMO glede izdelave, uporabe in distribucije vektorskih ENC prezapleteni za amaterskega pomorščaka. Dobra in cenovno sprejemljivejša varianta nasproti sistemu ECDIS je rastrski elektronski sistem za prikazovanje elektronskih pomorskih kart (Raster Chart Display System, RCDS), katerega osnova je RNC, ki je v bistvu skenirana pomorska karta (Karničnik et al. 2004). Ko je taka karta prikazana na zaslonu navigacijskega sistema, je ta faksimilna reprodukcija podatkov, ki jih vsebuje papirnata pomorska karta. Pravni status RCDS je še vedno predmet razprav v mednarodni hidrografski stroki. Ker pa vse več amaterskih uporabnikov pri navigaciji uporablja sodobno satelitsko navigacijsko opremo, se pogosto pojavi težava glede uporabe ustreznih kartografskih podlag za varno plovo in navigacijo. Pri njihovi izbiri je treba biti še posebej pazljiv, saj številni ponudniki ne ustrezajo kriterijem za natančno in varno priobalno navigacijo. Tudi tukaj se pokaže priložnost oziroma možnost uporabe obstoječih podatkov Navigijskega vodnika (detajlne karte) in drugih pomorskih kart in publikacij.

## 6 Sklep

Pomorske karte in pomorske publikacije so oblika uporabnega prikaza hidrografskih podatkov. Glede na namen posameznih kart in njihovo merilo (generalne, kurzne, obalne, detajlne) ter glede na vsebino posameznih publikacij (navigijski vodnik, IALA – sistem pomorskih oznak, popis svetilnikov in boj, podvodnih razbitin ipd.) gre v vseh primerih za namenski prikaz in zato omejeno izvedenost prostorskih podatkov. Za končnega uporabnika to velikokrat sicer zadostuje, še več, v večini pogledov je uporaba teh izdelkov praktična in celo obvezna. Z vidika širšega razvoja uporabnosti prostorskih podatkov, njihovega povezovanja v širše okolje ter posledično preučevanja medsebojnih vplivov in vplivov na druge prostorske dejavnike, pa se pokaže njihova vrednost še v drugačni luči. Ta vrednost je nedvomna in tudi vedno pogostejše preverjena v praksi.

## 7 Viri in literatura

- Barlett, D. J. 1999: Working on the Frontiers of Science: Applying GIS to the Coastal Zone. Marine and Coastal Geographical Information Systems. London.
- IHO 1990: Hydrographic Dictionary. Special Publication No. 32, Monaco.
- Karničnik, I., Barborič, B., Kete, P., Radovan, D. 2004: Rastrske elektronske navigacijske karte pri navigaciji in plovi. Naročnik Ministrstvo za promet, Izvajalec Geodetski inštitut Slovenije, Raziskovalna naloga. Ljubljana.
- Klanjšček, M., Karničnik, I., Radovan, D. 2005a: Navigijski vodnik slovenskega morja in obale. Ljubljana.

- Klanjšček, M., Karničnik, I., Radovan, D. 2005b: Navtični vodnik slovenskega morja in obale. Naročnik Ministrstvo za promet, Izvajalec Geodetski inštitut Slovenije, Priloga 1: Redakcijski načrt, verzija 2.0. Ljubljana.
- Klanjšček, M., Karničnik, I., Radovan, D. 2005c: Izdelava Navtičnega vodnika slovenskega morja in obale. Naročnik Ministrstvo za promet, Izvajalec Geodetski inštitut Slovenije, Končno poročilo. Ljubljana.
- Radovan, D., Karničnik, I., Petrovič, D. 2000: Hidrografski podatki slovenskega morja in elektronska pomorska kartografija. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1999–2000: zbornik referatov simpozija. Ljubljana.
- Medmrežje: <http://www.mzp.gov.si/> (10. 5. 2006).

## KARTIRANJE NORMATIVNEGA ZNANJA: SPOZNAVNI ZEMLJEVIDI IN GIS

**Mojca Golobič**

Urbanistični inštitut Republika Slovenije

Trnovski pristan 2, 1000 Ljubljana

mojca.golobic@uir.si

UDK: 711:528.9:659.2

### IZVLEČEK

#### **Kartiranje normativnega znanja: spoznavni zemljevidi in GIS**

Predstavljena je metoda za pridobivanje in vključevanje neformalnega normativnega znanja v postopek prostorskega načrtovanja z namenom približati prostorske načrte potrebam in željam prebivalcev in izboljšati komunikacijo med strokovnjaki in uporabniki v lokalnih skupnostih. Metoda temelji na zajemu znanja z anketiranjem s spoznavnimi zemljevidi. Interpretacija zemljevidov, ki je najzahtevnejši vidik njihove uporabe v prostorskem načrtovanju, je izvedena s formaliziranimi postopki, kot so grafična vsota ter regresijska analiza. Ti omogočajo sintezo spoznavnih zemljevidov s prostorskimi podatki in z ekspertnimi modeli v alternativne predloge rabe prostora, ki izhajajo iz vrednostnih opredelitev identificiranih interesnih skupin. Preizkus metode na primeru načrtovanja namenske rabe za občino Komenda je pokazal, da lahko vodi k bolj komunikativnemu in vključevalnemu načinu prostorskega načrtovanja in prinese tudi nove, z interesi prebivalcev usklajene rešitve.

### KLJUČNE BESEDE

spoznavni zemljevidi, pridobivanje znanja, načrtovanje rabe prostora, GIS

### ABSTRACT

#### **Mapping normative knowledge: mental maps and GIS**

A methodology for acquisition and use of informal normative knowledge within land use planning procedures is presented. The resulting plans should better reflect the needs and aspirations of concerned people, while the knowledge acquisition process itself would help to improve the communication between the experts and the local public. The methodology is based on opinion survey with the use of graphic response options (mental maps). The interpretation, being the most difficult part of the mental map technique is supported by a set of formal tools such as graphic summation and regression analysis. These enable the synthesis of mental maps, spatial data and expert evaluation models into interest specific alternative land use proposals. The test of the proposed methodology in a pilot region has shown its value for a more communicative and participative way of planning, which may also bring new solutions, corresponding to the expectations of local people.

### KEYWORDS

mental maps, knowledge acquisition, land use planning, GIS



## 1 Uvod

Planiranje je dejavnost, ki povezuje znanje z delovanjem (Friedman 1973), kar zahteva uporabo ustreznih metod tako za razumevanje in raziskovanja stvarnosti, kakor tudi za postavljanje norm: ciljev in strategij za njihovo doseganje. V 60-ih letih so se v prostorskem planiranju uveljavili znanstveni pristopi, n.pr. racionalno – vseobsežno planiranje (Johannesen in sod. 1998; Lyle 1985), ki temeljijo na racionalnih analizah prostora ter na znanju strokovnjakov. Z uveljavljanjem računalniških metod, kot so geografski informacijski sistemi (GIS), sistemi za podporo odločanju in ekspertni sistemi, so ti pristopi pridobili na veljavi, težišče raziskovalnega dela pa se je usmerilo na probleme pridobivanja znanja o fizični stvarnosti ter kakovosti in predelave podatkov. Rezultat teh prizadevanj je vrsta orodij, ki danes omogočajo učinkovito izpopolnitev znanja o stvarnosti, med tem ko se metode in orodja za pridobivanje normativnega znanja niso enakovredno razvili. Predpostavke o vrednotah, tveganjih, sprejemljivosti stroškov in koristi tako največkrat ostanejo v domeni ekspertnega določanja ter implicitne v odločitvah (Healey 1996). Kljub uporabi vrhunske strokovne vednosti se zato pogosto dogaja, da so predlagane rešitve neustrezne in neskladne s pričakovanji javnosti. Pogledi na to, kaj je npr. družbeno ustrezna raba, so odvisni od posameznikovih vrednot in potreb in se zato pogosto razlikujejo od ekspertno ali tržno opredeljenih, prav tako pa se razlikujejo med posamezniki oz. skupinami. Pogosto se zdi, da so pričakovanja vpletenih preveč različna, konfliktna ali pa sploh preslabo izoblikovana, da bi jih bilo mogoče prevesti v konsistenten predlog razvoja, zapisanega v prostorskem načrtu, ki bi bil poleg tega še sprejemljiv za vse prizadete. Vsekakor so se pristopi, ki temeljijo na izpopolnjevanju strokovne vednosti z novimi dejstvi, meritvami, izračuni, v tem pogledu izkazali za neučinkovite. Zlasti v tistih delih postopka, ki zadevajo vrednotenja, primerjave in izbiro rešitev, bi morale biti vrednote in stališča uporabnikov pomemben vir spoznanj (Irwin in sod. 1999).

Prostorsko načrtovanje torej potrebuje metode, ki bi z vključevanjem neformalnega normativnega znanja uporabnikov pomagale učinkovito identificirati cilje, jih prevesti v prostorske rešitve in jih uskladiti v sprejemljivo in izvedljivo prostorsko rešitev. Prispevek predstavlja eno od možnih metod za pridobivanje neformalnega znanja o spreminjanju prostora. Poleg tega, da želimo na ta način izboljšati predloge planskih rešitev, lahko tudi priskrbimo skupni jezik komunikacije med strokovnjaki in javnostjo ter podpremo dejavno vključevanje prizadetih in zainteresiranih v postopek iskanja rešitev in odločanja.

## 2 Metode pridobivanja normativnega znanja

Za pridobivanje in uporabo normativnega znanja v planerskem procesu se najpogosteje uporabljata dve skupini metod: anketiranje in participativni pristopi. Prednosti anket so predvsem možnost zajema znanja v širši populaciji in bolj enakomerno glede na različne značilnosti posameznikov. V primerjavi s participativnimi pristopi pa je njihova slabost predvsem ta, da zajamejo le prerez znanja v določenem času, med tem ko participativni pristopi omogočajo spreminjanje in oblikovanje znanja kot odziv na alternativne možnosti sprememb. Možnosti uporabe informacijske tehnologije so pri obeh skupinah metod velike, četudi še zdaleč ne izkoriščene. Ovira je zlasti zahteva po določeni stopnji formalizacije oz. eksplikacije znanja, ki zahteva določene načine zajema in predelave pridobljenega znanja. Neformalno znanje uporabnikov pa je po svoji naravi subjektivno, kontekstualno specifično in intuitivno, zaradi česar je največkrat izključeno iz načrtovalnega postopka.

Med prostorskimi načrtovalci je dokaj uveljavljeno prepričanje, da si z rezultati javnomnenjskih anket ne morejo koristno pomagati (Marušič 2000). V anketi izražene želje in namere se namreč nanašajo na obstoječo situacijo in vlogo izpraševancev, ne pa na tiste okoliščine, ki bi nastale z njihovim uresničevanjem ali z uresničenjem želja drugih (Polič in sod. 2000; Mlinar 1983). Da bi z javnomnenjsko raziskavo dobili znanje, ki bi ga uporabili pri usmerjanju iskanja rešitev, je treba ustrezno

prilagoditi tako metodo anketiranja kakor tudi načrtovalni postopek. Nekatere možnosti, kot so uporaba spoznavnih zemljevidov in klastrske analize za anketiranje ter analiza spoznavnih zemljevidov z regresijsko analizo za pripravo alternativnih prostorskih rešitev bodo predstavljene v nadaljevanju.

## 2.1 Spoznavni zemljevidi

Spoznavni zemljevidi so mentalne predstave informacij, ki jih imajo posamezniki o okolju (Golledge in Stimson 1997), nekakšen notranji geografski informacijski sistem, ki poleg prostorsko relacijskih podatkov vsebuje tudi attribute ter (eksplicitne ali implicitne) individualizirane in sociokulturno pogojene oznave in vrednote. V nasprotju z računalniškimi GIS-i informacije tu niso naložene ločeno, po tematskih slojih, temveč celostno, v obliki sintetičnih kart. Izdelava spoznavnih zemljevidov je intuitivni postopek, v katerem se vrednote in cilji formulirajo v enotni obliki (Weiner in sod., 1998; Kersten 1996). Ta postopek lahko vsebuje zelo kompleksne procese kot je npr. večkriterijsko vrednotenje, v katerega je zajeta cela vrsta kompleksnih informacij, ki se jih vprašani ob risanju zemljevida morebiti niti ne zaveda. V zarisani opredelitvi je združeno znanje o fizični stvarnosti, vrednote, pa tudi strategije razreševanja možnih konfliktov med različnimi potrebami po razvoju in varstvu kakovosti v prostoru (Marušič 2000). Lahko pa je ta postopek tudi zelo preprost, odvisno od posameznikovih spoznavnih procesov, povezanih s konkretnim problemom.

Risanje spoznavnih zemljevidov si torej lahko predstavljamo kot neke vrste grafično anketiranje. Z razlago spoznavnega zemljevida lahko razbiramo različne plasti znanja, na osnovi katerih je zemljevid nastal, od gole inventarizacije dejstev o prostoru, do znanja o procesih in zakonitostih v prostoru, od vrednostnih predstav o prostoru do planskih opredelitev.

Spoznavne zemljevide so začeli uporabljati v 60-ih letih prejšnjega stoletja za analizo strukture in identitetnih elementov prostora (Lynch 1960) ter za ugotavljanje vrednostnih stališč o prostoru (Gould 1975). Tudi v prostorskem načrtovanju risanje spoznavnih zemljevidov ni nova metoda, pri čemer so spoznavni zemljevidi največkrat uporabljeni kot vhodni podatki v klasični intuitivni planerski postopek (Macnab 1998) ali kot del geografske informacijske podpore (Ventura in sod. 1998; Harris in Weiner 1998). Pri večini pristopov anketiranci (do)rišejo določene vsebine na topografske ali tematske karte. Opisani so pristopi z individualnimi vprašalniki (Polič in sod. 2000) in taki, kjer risanje poteka na delavnicah in so karte rezultat skupne odločitve (Harris in Weiner 1998; Macnab 1998; Ventura in sod. 1998). Računalniška tehnologija z GIS-i in spletom (Kingston in sod. 1999; Carver in sod. 1998) pa omogoča tudi bolj avtomatiziran zajem in analizo znanja, npr. neposredno vnašanje odgovorov v računalnik, sprotno izdelavo profila uporabnika, analizo uporabnikov in križanje njihovih lastnosti z izraženimi mnenji.

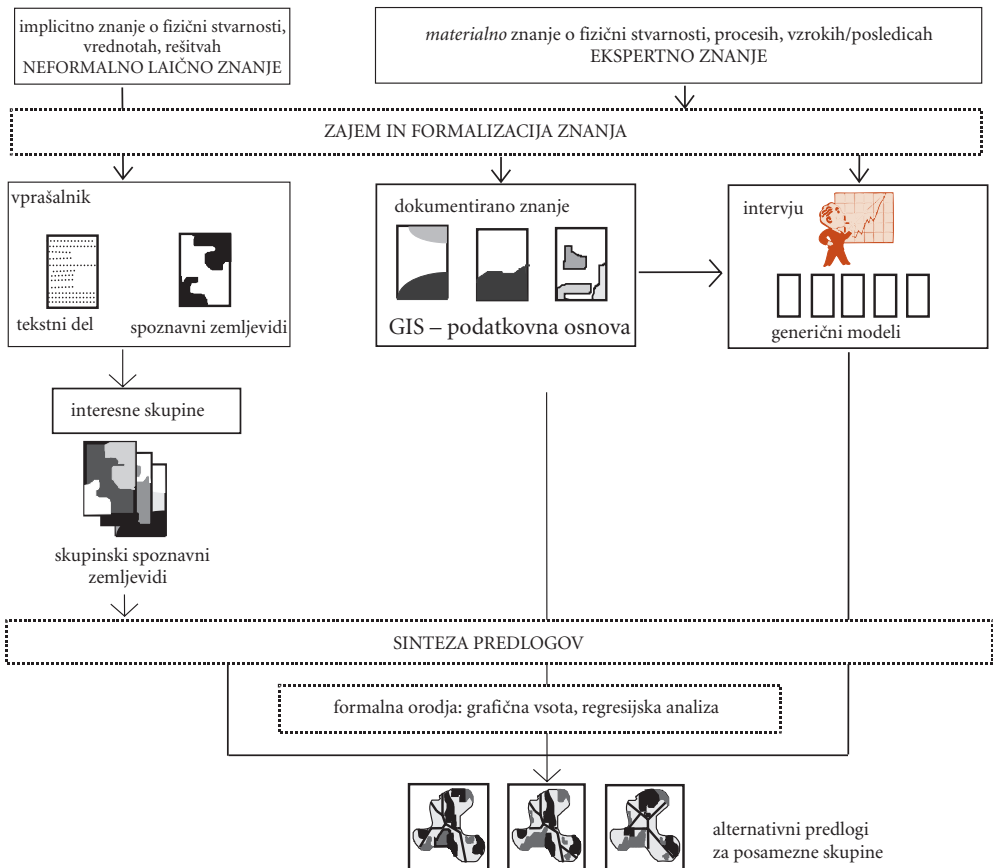
Omejitve te metode izhajajo predvsem iz tehnike risanja zemljevida, ki zahteva visoko stopnjo abstrakcije, kar lahko nekaterim ljudem predstavlja veliko težavo. Težavna naloga je tudi interpretacija – razbiranje različnih plasti znanja v spoznavnih zemljevidih (Weiner in sod. 1998; Golobič 1999; Polič in sod. 2000). Razlago lahko olajša uporaba dodatnih vprašanj, ki osvetlijo razloge za prostorske opredelitve (Polič 1991), ali uporaba vrednostnih kart kot podlage za risanje (Ventura in sod. 1998). Primerov interpretacije spoznavnih zemljevidov s formalnimi oblikami analize v literaturi skoraj ni. Poskus take interpretacije je bil pripravljen v primeru anketiranja manjšega vzorca populacije v občini Ajdovščina (Bartol in sod. 1998), ki pa je bil zaradi večinoma nominalnih podatkov omejen na obdelavo s sorazmerno preprosto metodo križnih tabel.

Regresijska analiza je kompleksnejša metoda, s katero je možno ne le identificirati, temveč tudi opisati razmerje med več spremenljivkami v sistemu (npr. Silvennoinen in sod. 2001; Burley in Brown 1995). Model tehtane vsote, s katerim se najpogosteje rešuje probleme večkriterijskega vrednotenja, dobimo v tem primeru iz regresijske enačbe. Vendar pa je uporaba regresijske analize omejena na številčne spremenljivke.

### 3 Metodologija

Prikazana metoda je prilagojena postopku načrtovanja namenske rabe v lokalnih prostorskih planih. Glavni koraki so predstavljeni na sliki 1. Z vidika pridobivanja znanja lahko načrtovalni postopek obravnavamo po naslednjih ključnih fazah:

- zajem znanja: identifikacija interesov, ciljev in programov v posameznem prostorsko-načrtovalnem kontekstu,
- sinteza znanja: oblikovanje različnih rešitve, ki so specifične za vpletene interese.



Slika 1: Shema postopka pridobivanja znanja v načrtovalnem postopku.

#### 3.1 Zajem znanja

Zajem znanja poteka z anketo na reprezentativnem vzorcu prebivalcev Komende, s čimer zagotovimo, da bo pridobljeno znanje približno predstavljalo vse prebivalce. Vprašalnik v prvem delu vsebuje vprašanja o vrednotah ter stališčih do razvoja v prostoru, ter standardna demografska vprašanja. Drugi del vprašalnika zahteva odgovore v obliki spoznavnih zemljevidov. Anketiranci na topografske karte v merilu 1 : 25.000 narišejo območja, kamor bi po svoji presoji umestili nekatere dejavnosti, ki so predmet prostorskega plana. Zemljevide nato digitaliziramo z orodjem ArcView, pri čemer je vsa-

ko zarisano območje preneseno kot poligon z identifikacijsko številko vprašalnika in atributom namenske rabe.

### 3.2 Sinteza znanja

V prvem delu uporabimo nehierarhično metodo razvrščanja v skupine (K-mean clustering) pri odgovorih na vprašanja, ki se nanašajo na odnos do razvoja in varovanja. Tako ugotovimo, ali se med prebivalci oblikujejo skupine s podobnimi interesi in vrednostnimi izhodišči ter identificiramo pripadnost posameznika skupini. Značilnosti posameznih skupin ugotavljamo s križanjem z drugimi vprašanji (analizo variance) ter z ugotavljanjem razlik med srednjimi vrednostmi ali frekvencami odgovorov po skupinah.

Drugi del sinteze so analize spoznavnih zemljevidov. Preverjene so bile tri metodološke različice, ki se razlikujejo po stopnji formalizacije in nadaljnje predelave spoznavnih zemljevidov: (1) grafična vsota, (2) regresijska analiza s prostorskimi podatki in (3) regresijska analiza z ekspertnimi vrednostnimi modeli. Uporaba statističnih metod za obdelavo prostorskih podatkov zahteva enoto analize, za katero predpostavimo notranjo homogenost. V našem primeru smo za enoto analize uporabili rastrsko celico velikosti  $25 \times 25$  m, lastnosti prostora pa so njeni atributi.

(1) Pri metodi grafične vsote zemljevidov je rezultat za vsako celico predstavljen z numerično vrednostjo, sorazmerno s številom anketiranih, ki so jo označili na svojem zemljevidu. V tem primeru je v postopek sinteze znanja vključeno samo laično – implicitno znanje.

(2) Regresijska analiza s prostorskimi podatki temelji na predpostavki, da so lokacijske odločitve za dejavnosti odvisne od lastnosti prostora. Ker so ta pravila drugačna za vsako identificirano interesno skupino, dobimo različne funkcije ustreznosti, ki jih zapišemo z regresijsko enačbo kot tehtano vsoto, kjer je B uporabljen za utež, rezultat pa normiran na vrednosti 1–5. V tem primeru je v postopek sinteze znanja poleg implicitnega znanja uporabnikov vključeno še znanje o fizični stvarnosti.

(3) Regresijska analiza z vrednostnimi modeli je analogna zgornjemu pristopu, le da v regresijsko analizo namesto prostorskih podatkov vključimo kompleksne modele ustreznosti na osnovi ekspertnih ocen na lestvici od 1–5. Z modeli predstavimo kompleksnejše povezave med posameznimi prostorskimi lastnostmi v obliki odločitvenih meril. Izbrali smo naslednje modele: stroški za gradnjo, prijetnost bivanja, razpoložljivost prostora in infrastrukture, privlačnost prostora za športno-rekreacijske dejavnosti, pridelovalni potencial, ranljivost okolja za hrup, ranljivost narave, ranljivost voda, ranljivost kulturnih kakovosti prostora. V tem primeru je v postopek sinteze znanja vključeno implicitno znanje uporabnikov ter ekspertno znanje o fizični stvarnosti in vrednostih.

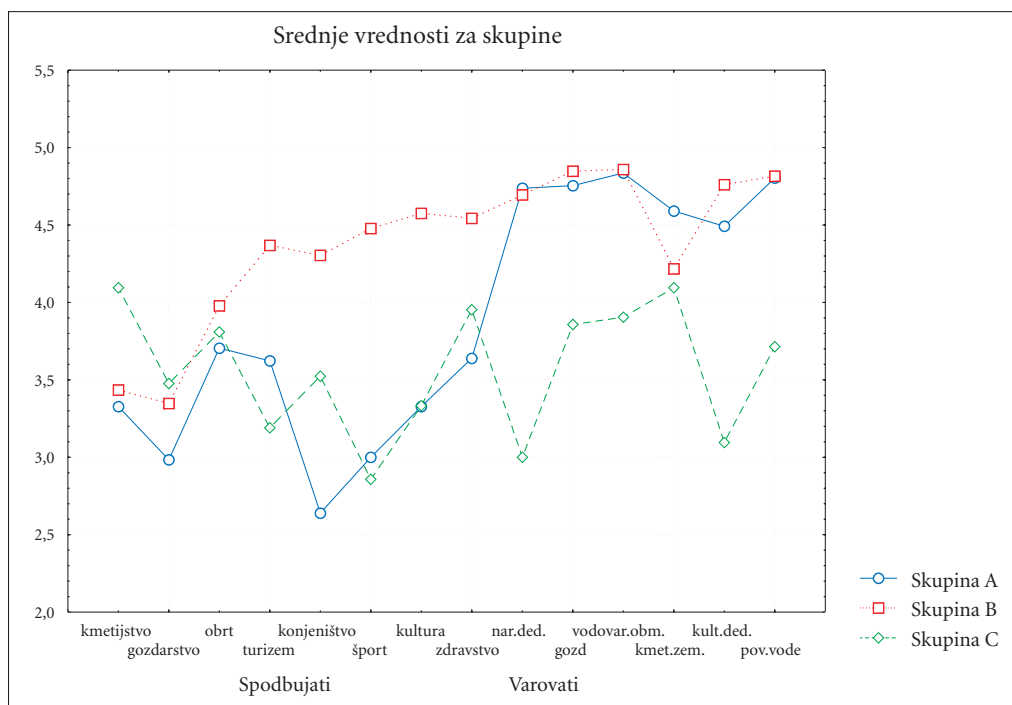
Nekatera GIS orodja (IDRISI) imajo integrirane regresijske in korelacijske analize, v našem primeru pa smo podatke izvozili v paket STATISTICA (podoben postopek je opisan v npr. Burley in Brown 1995). Resno omejitev pri uporabi statističnih analiz, kot je regresijska analiza, predstavljajo lastnosti atributov. Le redki namreč ustrezajo zahtevi, da morajo biti vrednosti izražene številčno, na kardinalni lestvici (npr. digitalni model reliefa). Drugi so bodisi binarni (pojav je/ni), nominalni (površinski pokrov) ali ordinalni. Te težave smo skušali zmanjšati tako, da smo večino podatkov prevedli v neke vrste številčne vrednosti: oddaljenosti od pojavov ali intervalne vrednostne lestvice, kjer imajo vrednosti vselej primerljiv pomen. Drug problem je visoka medsebojna korelacija, kar je treba upoštevati pri interpretaciji rezultatov.

## 4 Rezultati testnega primera

V izbranem primeru – prostorski plan za občino Komenda – smo s terenskim anketiranjem dobili 196 izpolnjenih vprašalnikov, kar še predstavlja ustrezen vzorec prebivalcev Občine. Spoznavni zemljevidi so vsebovali izrisana območja, kamor bi anketiranci po svoji presoji umestili dejavnosti, ki so predmet prostorskega plana: varstvo, poselitev, proizvodnja in rekreacija. Na sliki 2 so prikazana vsa narisana območja za posamezne kategorije, kakor so jih zarisali prebivalci in kakor so bila prenesena v digitalno obliko.



Slika 2: Območja dejavnosti (levo) ter območja varstva in degradacij (desno) kakor so jih na svoje karte zarisali vprašani prebivalci Komende.

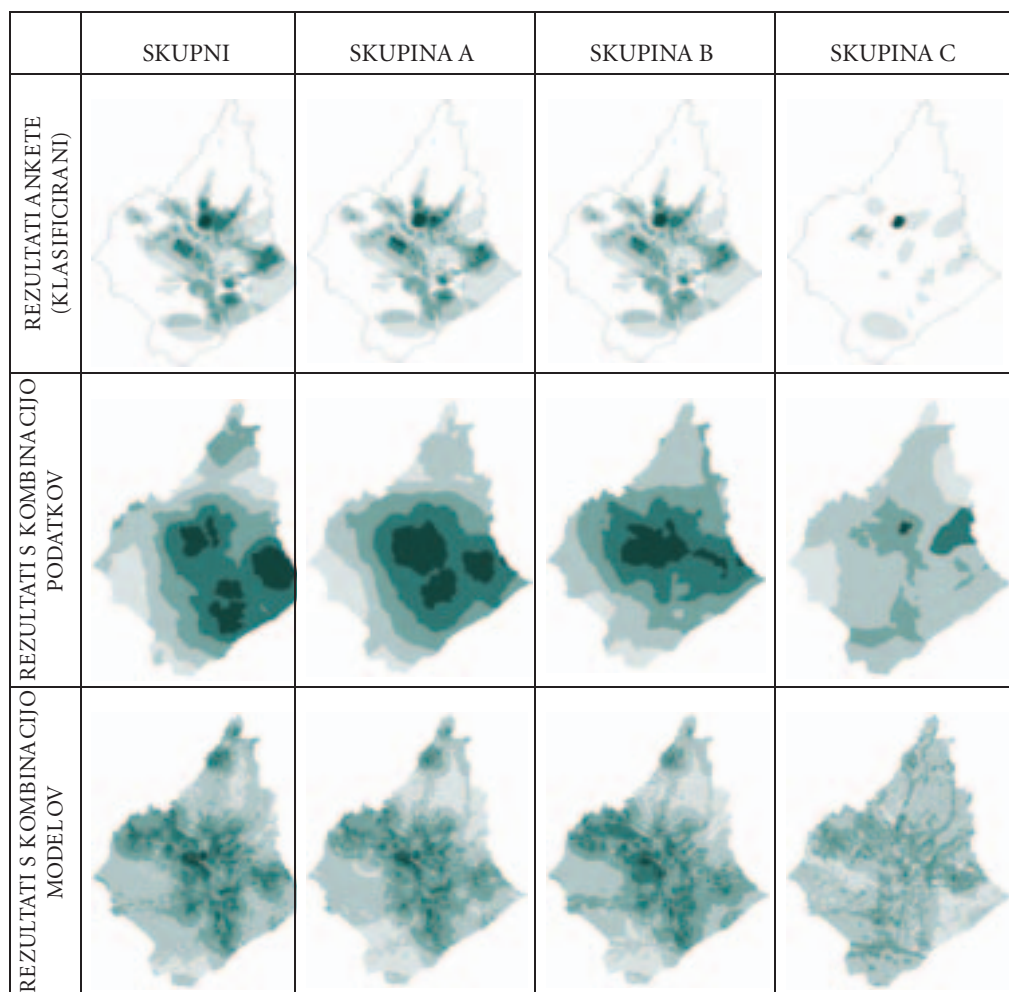


Slika 3: Rezultati klasterne analize na osnovi vprašanj o razvojnih in varstvenih prioritetah

Razvrščanje prebivalcev v interesne skupine smo opravili na osnovi odgovorov na vprašanja: »Koliko bi bilo treba vzpodbujati razvoj naslednjih dejavnosti?« in »Kako pomembno se vam zdi varovati naslednje kakovosti?« Z metodo nehierarhičnega razvrščanja smo dobili 3 skupine, ki jih zelo jasno označujejo različne razvojno-varstvene opredelitve (slika 3).

V skupini A (»konzervativna«) so interesi precej neizoblikovani, razvojni je na splošno nizek, naravnani v obrt in turizem, varstveni interes pa na splošno visok. V skupini B (»urbana«) je razvojni interes liberalnejši, večji poudarek dajejo družbenemu standardu na eni strani in tržnim pobudam na drugi. Varstveni interes je usmerjen v varovanje naravnih vrednot, V skupini C (»kmetijska«) je razvojni interes predvsem v kmetijstvu in konjeništvu. Varstveni interes manj izrazit in usmerjen predvsem v varovanje kmetijskih zemljišč.

Sinteza znanja v predloge rešitev je bila za vse tri identificirane interesne skupine izvedena po treh predlaganih metodoloških različicah: z grafično vsoto spoznavnih zemljevidov, z regresijsko analizo osnovnih prostorskih podatkov ter z regresijsko analizo ekspertno sestavljenih generičnih modelov. Na



Slika 4: Pregled modelov za poselitve po metodoloških različicah in po skupinah

osnovi rezultatov so bili sestavljeni ustrezni modeli, ki so predstavljeni kartografsko kot karte ustreznosti za obravnavane štiri dejavnosti (slika 4 prikazuje kartografske rezultate po vseh treh metodoloških različicah za primer poselitve).

Rezultate lahko povzamemo v naslednjih točkah:

- Grafična vsota zemljevidov olajša prikaz in razlago, ki pa je lahko le kvalitativna in dokaj preprosta. Vsekakor lahko tudi iz teh kart ocenimo, ali obstajajo in kakšne so razlike med skupinami. Poleg tega lahko zgostitev odgovorov okrog nekega območja dovolj zanesljivo razlagamo kot večinsko strinjanje o namenski rabi območja. Nepoznani pa ostajajo argumenti oziroma merila za odločitev. Ničesar tudi ne moremo reči o prostoru zunaj obkroženih območij: morda v resnici ni ustrezen za obravnavano dejavnost ali pa je samo zunaj mentalnega prostora vprašanih.
- Merila za posamezno dejavnost, ki smo jih pridobili z regresijsko analizo se med skupinami razlikujejo in se v glavnem skladajo z vrednostnimi izhodišči, povzetimi iz besednega dela ankete. Takšne modele strategij umeščanja dejavnosti v prostor potrjujejo tudi kartografski prikazi. Pri regresijski analizi osnovnih podatkov se pojavljajo tudi nekatere povezave, za katere bi težko našli smiselno razlago in zelo verjetno izvirajo iz prostorske korelacije podatkov. Teh primerov pri regresiji z vrednostnimi modeli ni.
- Merila za različne dejavnosti se znotraj ene skupine pomembno razlikujejo, kar kaže, da imajo prebivalci za vsako od obravnavanih dejavnosti izdelano dokaj jasno in specifično strategijo za umeščanje v prostor. Nabor uporabljenih meril je dokaj kompleksen in upošteva tudi potencialno konfliktnost z drugimi rabami.
- Kartografski prikazi pri uporabi generičnih modelov so bolj razčlenjeni in so zato ustreznejša podlaga za umeščanje dejavnosti v prostoru/določanje namenske rabe.

## 5 Sklepi

Celoten postopek preizkusa metode vključno z rezultati je podprl izhodiščno hipotezo, da je znanje uporabnikov, še posebno njegov implicitni del, pomemben vir manjkajočega znanja v načrtovalnem postopku. Proces njegovega pridobivanja pa lahko priskrbi skupni jezik komunikacije med strokovnjaki in javnostjo. Postopek pridobivanja tega znanja je bilo treba zastaviti tako, da je s povezavo z drugimi viri znanja omogočil oblikovanje različnih rešitve problema in obenem dal merila za njihovo medsebojno usklajevanje, metodologijo pa prilagoditi značilnostim posameznih tipov znanja. Za razliko od večine opisanih pristopov uporabe spoznavnih zemljevidov v prostorskem načrtovanju (Harris in Weiner 1998; Macnab 1998; Polič 1991), v predstavljenem pristopu predlagamo večjo stopnjo formalizacije pri obdelavi zemljevidov in vključevanju v načrtovalni postopek. Izkazalo se je, da predlagana metoda s kombinacijo tehnik anketiranja, spoznavnih zemljevidov, ekspertnih modelov, regresijske analize in GIS-a dovolj uspešno rešuje to nalogo. Kljub temu, da metodi razvrščanja v skupine ter regresijska analiza v osnovi nista namenjeni uporabi na intervalnih podatkih, sta v naših primerih dali zadovoljive rezultate. Uporabljene vrednosti (1–5) imajo namreč vselej isto pomensko vrednost in so torej do neke mere primerljive. Drugi razlog je, da rezultatov ne interpretiramo kot absolutne kvantitativne vrednosti (ki jih niti ne potrebujemo), temveč zgolj kot tendence, izhodišča za večje ali manjše upoštevanje posameznih meril v vsaki identificirani skupini. Z identifikacijo odločitvenih meril, lahko prenesemo enak model ocenjevanja, kot je bil (implicitno) uporabljen pri zarisu ene lokacije, v cel prostor obravnave. Regresija s kompleksnimi modeli odločanja je dala boljše rezultate, ki prepričljivo prikažejo razlike v konceptih vrednotenja prostora med skupinami. Ti rezultati potrjujejo tezo, da laiki kompleksno informacijo bolj koristno uporabijo v bolj celoviti obliki (Ventura s sod. 1998). Pomembno vprašanje pa sproža ekspertna intervencija v razlago prostorskih lastnosti, kar lahko do neke mere predpostavi, zoži prostor možnosti. Na vsak način so modeli *generični* samo znotraj enega prostorsko-problemskega konteksta, to pomeni, da morajo biti zasnovani za vsak odločitveni problem posebej.

Predstavljeni postopek nakazuje možno pot, ki bi lahko pripomogla k preseganju uveljavljene prakse, ki pomemben segment znanja tako rekoč izključuje iz postopka. Možnost uporabe metode pri reševanju praktičnih načrtovalnih problemov, kot je npr. določanje namenske rabe v občini, je osnovno merilo njene uspešnosti. Tudi zato so bile predlagane take metode in tehnike, ki so že uveljavljene na nekaterih sorodnih področjih, nova pa sta njihova povezava in način uporabe.

Ne glede na prepričljivost pa je previdnost pri razlagi rezultatov na mestu. Nekateri rezultati so npr. lahko le posledica sovpadanja prostorskih podatkov, zato je pomembno preverjanje z različnimi postopki. Taka preveritev je bila opravljena s primerjavo rezultatov vseh treh metodoloških različic, poleg tega pa še skozi tekstni del vprašalnika in nenazadnje tudi z vizualno analizo kartografskih prikazov dobljenih modelov. Odprta vprašanja ponujajo možnosti za nadaljevanje raziskovanja predvsem na področjih: iskanje ustrežnejših orodij za avtomatsko interpretacijo zemljevidov, oblikovanja generičnih modelov vrednotenja, avtomatizacije postopka zajema in predelave znanja in povečanje prilagodljivosti spremembam ter uporabe spletne tehnologije.

## 6 Viri in literatura

- Bartol, B., Golobič, M., Kavčič, I., Logar, J., Marušič, I., Mlakar, A., Simonič, T. 1998: Anketno ocenjevanje kot način pridobivanja meril v postopku prostorskega planiranja. *Urbani izziv* 9, 2: 99–103.
- Burley, J. B., Brown T. J. 1995: Constructing interpretable environments from multidimensional data: GIS suitability overlays and principal component analysis. *Journal of Environmental Planning and Management*, 38,4: 537–550.
- Carver, S., Kingston, R., Turton, I. 1998: A Review of graphical environments on the World Wide Web as a means of widening public participation in social science research. School of Geography, University of Leeds. <http://www.ccg.leeds.ac.uk/agocg/report.htm>
- Friedman, J. 1973: *Retracking America: A theory of Transactive planning*. New York, Anchor Press.
- Golledge, R. G., Stimson, R. J. 1997: *Spatial behavior, a geographic perspective*. New York, The Guilford Press.
- Golobič, M. 1999: Knowledge acquisition for participative spatial planning. V: *Emerging technologies for sustainable land use and water management: proceedings*. Musy A., Santos-Pereira L., Fritsch M. (ur.). Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes: 13.
- Gould, P. 1975: *People in information space: The mental maps and information surfaces of Sweden*. Glerup The Royal university of Lund, Department of geography: 113 str.
- Harris, T., Weiner, D. 1998: *Community-Integrated GIS for Land Reform in Mpumalanga Province, South Africa*, Department of Geology and Geography, West Virginia University. <http://www.ncgia.ucsb.edu/varenius/ppgis/papers/harris.html>
- Healey, P. 1996: The communicative turn in planning theory and its implications for spatial strategy formation. *Environment and Planning B: Planning and Design* 23: 217–234.
- Irwin, A., Simmons, P., Walker, G. 1999: Faulty environments and risk reasoning: the local understanding of industrial hazards. *Environment and Planning A*, 31,7: 1311–1326.
- Johannesen, J.-A., Olaisen, J., Olsen, B. 1998: The philosophy of science, planning and decision theories. *Built environment* 24,2-3: 155–168.
- Kersten, G. E. 1996: Support for Group Decisions and Negotiations, An Overview. [www.interneg.carleton.ca/interneg/research/misc/intro\\_gdn.html](http://www.interneg.carleton.ca/interneg/research/misc/intro_gdn.html)
- Kingston, R. 1998: Web based GIS for public participation decision making in the UK. <http://www.ncgia.ucsb.edu/varenius/ppgis/papers/kingston/kingston.html> (8. 8. 2001)
- Lyle J. T. 1985. *Design for human ecosystems*. New York, Van Nostrand Reinhold: 372 str.
- Lynch, K. 1960: *The image of the city*. Cambridge, Mass, The MIT Press: 193 str.



- Marušič, J. 2000: Prostorsko planiranje V: Spoznavni zemljevid Slovenije. Polič M. (ur.). Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta.
- Macnab, P. 1998: There Must Be a Catch: Participatory GIS in a Newfoundland Fishing Community. Paper for the NCGIA Specialist Meeting: Empowerment, Marginalization and Public Participation GIS. <http://www.ncgia.ucsb.edu/varenius/ppgis/papers/macnab/macnab.html>
- Polič, M. 1991: Stališča prebivalcev občine Grosuplje do nekaterih vidikov njenega razvoja. Grosuplje, Občina Grosuplje: 23 str.
- Polič, M., Natek, K., Marušič, J., Kos, D., Klemenčič, M. M., Kučan, A., Ule-Nastran, M., Repovš G. 2000: Spoznavni zemljevid Slovenije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta: 174 str.
- Silvennoinen, H., Alho, J., Kolehmainen, O., Pukkala, T. 2001: Prediction models of landscape preferences at the forest stand level. *Landscape and urban planning*, 56: 11–20.
- Ventura, S., Niemann, B., Sutphin, T., Chenoweth, R. 1998: GIS-Enhanced Land Use Planning in Dane County, Wisconsin, Land Information and Computer Graphics Facility, University of Wisconsin-Madison. <http://www.ncgia.ucsb.edu/varenius/ppgis/papers/ventura.html>
- Weiner, D., Harris, T. M., Burkhart, P. K. 1998: Local knowledge, multiple realities and the production of geographic information: South Africa and West Virginia case studies. <http://www.geo.wvu.edu/i19/papers/weiner3.html> <http://www.geo.wvu.edu/i19/research/local.html>

## ANALIZA RANLJIVOSTI PROSTORA KOT IZHODIŠČE IZVEDBE CELOVITE PRESOJE VPLIVOV NA OKOLJE

**dr. Aleš Mlakar**

Ljubljanski urbanistični zavod, d. d.  
Verovškova cesta 64, 1000 Ljubljana  
ales.mlakar@luz.si

UDK: 504.05

### IZVLEČEK

#### **Analiza ranljivosti prostora kot izhodišče izvedbe celovite presoje vplivov na okolje**

Analiza ranljivosti prostora je eno od izhodišč izvedbe celovite presoje vplivov na okolje. Analiza ranljivosti je metoda, s katero je moč ugotoviti občutljivejše dele prostora za posamezen posega ali razvojno dejavnost. Pomaga kot optimizacijsko orodje pri umeščanju teh posegov in dejavnosti v prostor, omogoča objektivnejšo sodbo o okoljski sprejemljivosti plana in preseganje ravni presoj, izdelanih zgolj na temelju ekspertnih ocen in besednih opisov.

### KLJUČNE BESEDE

varstvo okolja, celovita presoja vplivov na okolje, analiza ranljivosti prostora

### ABSTRACT

#### **Analysis of vulnerability as a method of determining the environment vulnerability**

Analysis of vulnerability is a method of determining more vulnerable parts of environment in a relation to particular interventions and development activities. It serves as an optimization tool within the process of placing those interventions and activities into environment, enables more objective judgment about their environmental acceptability and surpassing the level of assessment prepared only on expert estimation and verbal description.

### KEYWORDS

environmental protection, strategic environmental assessment, analysis of spatial vulnerability

## 1 Uvod

Zaradi sprejema Direktive 2001/42/ES Evropskega parlamenta in sveta o presoji vplivov nekaterih načrtov in programov na okolje (Directive ... 2001) je bil leta 2003 v Zakonu o varstvu okolja (UL RS 39/2006, uradno prečiščeno besedilo) spremenjen in zahtevam direktive prilagojen postopek celovite presoje vplivov na okolje.

Prenos določil direktive v naš pravni red prinaša povečanje pomena varstvenih izhodišč v prostorskem načrtovanju. Cilj presoje je namreč vključevanje okoljskih vidikov v pripravljane in sprejemanje načrtov in programov, saj direktiva določa, da se okoljska presoja izvede med pripravo načrta ali programa in preden se ta sprejeme ali vloži v zakonodajni postopek.

Način izdelave okoljskega poročila kot strokovnega gradiva za izvedbo postopka celovite presoje vplivov določa Uredba o okoljskem poročilu in podrobnejšem postopku celovite presoje vplivov izvedbe planov na okolje (UL RS 73/2005). Uredba ne določa metodologije ugotavljanja vplivov na okolje in s tem dopušča možnost, da je okoljsko poročilo pripravljeno na različne načine. Takšno zakonsko izhodišče samo po sebi ni problematično, saj sovпада s predpostavko, da mora tudi metodologija ugotavljanja vplivov upoštevati specifično posameznih prostorsko načrtovalnih oz. presojevalnih problemov.

Žal čas intenzivnega pričetka izdelave okoljskih poročil kaže, da se bodo okoljska poročila:

- izdelovala predvsem na osnovi subjektivnih, ekspertnih sodb,
- vključevala pretežno besedne opise,
- temeljila zgolj na neposrednemu in nekritičnemu prevzemanju informacij iz obstoječih baz prostorskih podatkov ter
- predstavljala zgolj potrdilo o okoljski sprejemljivosti plana oziroma planiranega posega.

Vse od začetka zakonske obveze presoje vplivov na okolje je namreč najbolj problematičen namen ugotavljanja vplivov, ki bi moral biti bolj jaseen, to je dovolj zgodnja vključitev (okolje)varstvenega mehanizma v načrtovanje, postopek sprejemanja odločitev in pripravo aktov povezanih z urejanjem prostora, z namenom načrtovati oziroma optimizirati posege na način, da ti v čim manjši možni meri razvrednotijo okolje.

V želji povečati učinkovitost in objektivnost postopka celovite presoje vplivov na okolje je namen prispevka izpostaviti povezanost presoje s študijo ranljivosti prostora, ki jo opredeljuje Zakon o urejanju prostora (UL RS 110/2002, 8/2003, 58/2003) oziroma Prostorski red Slovenije (UL RS 76/2004). Te povezave veljavna zakonodaja eksplicitno žal ne vzpostavlja, na srečo pa se je zaveda vsaj del prostorsko načrtovalne prakse.

## 2 Analiza ranljivosti prostora

Analiza ranljivosti prostora je, tako kot celovita presoja vplivov na okolje, orodje preventivnega okoljevarstvenega delovanja. V prostorskem načrtovanju je ključni problem, ki naj ga razrešimo, iskanje ustreznega mesta ali dela prostora za določeno dejavnost oziroma rabo. Ključni preventivni varstveni ukrep je torej optimizacija lokacije posega.

Analiza ranljivosti oziroma ugotavljanje občutljivosti prostora je metoda (mehanizem, opravilo, postopek), s pomočjo katere ugotovimo bolj ranljive oziroma občutljive dele prostora za nek poseg ali razvojno dejavnost.

Ne glede na uporabljeni termin, izhodišča oziroma način izdelave je bistveni namen analize ranljivosti, poenostavljeno, v opredeljevanju delov prostora, kamor naj ne bi umestili določene dejavnosti ali določenega posega in s tem zmanjševanje negotovosti o sprejemljivosti dejavnosti ali posega z vidika varstva okolja. Z analizo ranljivosti je moč simulirati možne vplive načrtovanih dejavnosti ali posegov na okolje, s čimer je dana tudi možnost presojanja o njihovi sprejemljivosti.

### 3 Analiza ranljivosti kot izhodišče okoljske presoje

Analiza ranljivosti, pripravljena za širša območja, npr. območje občine, odkriva sprejemljivost posegov v kontekstu varstva okolja in posameznih okoljskih sestavin na celotnem območju, kjer bi bilo možno uresničiti načrtovano prostorsko ureditev – območju možnih alternativ. Pri celoviti presoji torej ne sodimo le o vplivu na »prizadetem« območju, temveč tudi o potencialnih vplivih, ki bi bili posledica umestitve posega na drugih delih prostora. Hkrati je možno opredeliti prostorsko razsežnost posega v povezavi z območji z različnimi stopnjami ranljivosti oziroma sprejemljivosti.

Prostorska zasnova Mestne občine Ljubljana, ki je obravnavana kot primer, formalno sicer ni bila podvržena celoviti presoji, na pobudo naročnika pa je bila, zaradi pomembnosti te vsebine in potreb usklajevanja z za razvoj kmetijstva pristojno službo mesta, opravljena tudi presoja vplivov predlaganih širitev poselitvenih območij na kmetijstvo oziroma kmetijska zemljišča.

Izhodišče presoje je bila analiza ranljivosti pridelovalnega potenciala kmetijskih zemljišč. Analiza je bila opravljena s pomočjo programa ProVal2000. Osnovno vodilo analize je bilo, da mora analiza zajeti ves prostor, znotraj katerega so še bile možne alternative umestitve načrtovanih dejavnosti. Uvodoma je bila ustvarjena predstava o vseh možnih vplivih, ki jih imajo lahko obravnavane dejavnosti v prostoru. Prostor namreč ni ranljiv sam po sebi, temveč je vedno ranljiv na nek poseg ali dejavnost.

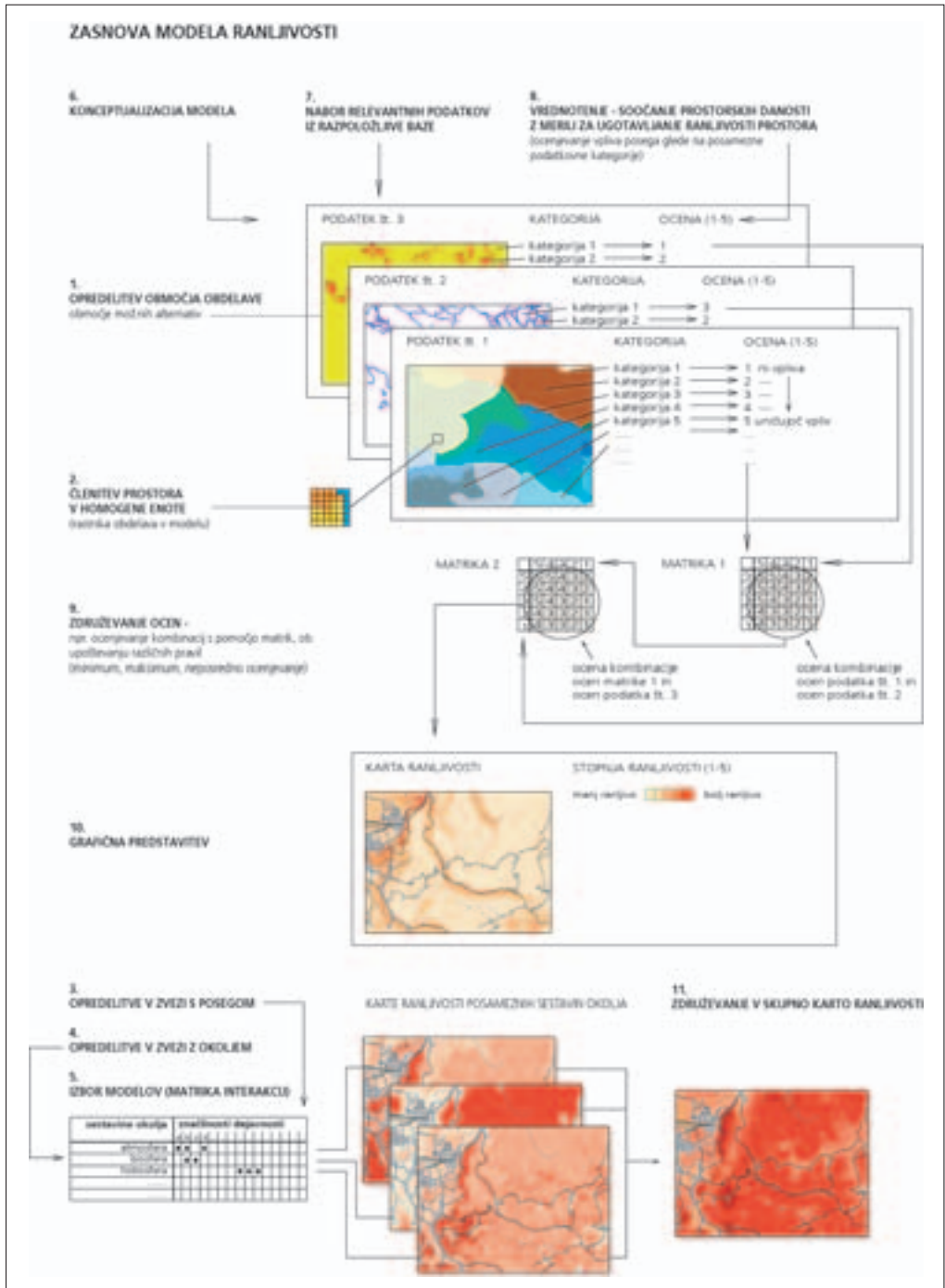
Ključni korak analize je bila jasna konceptualizacija modela, ki je izhajala iz opredelitev v zvezi z okoljem in posegom. Pri konceptualizaciji modela so bili opredeljeni kriteriji ugotavljanja ranljivosti, ki so izhajali iz ugotovitve, do kakšnih dejanskih vplivov bi prišlo in v kakšnih prostorskih situacijah bi bili vplivi izrazitejši, ter razmisleka, kako (s čim) opisati ranljivost v prostoru. Analiza je izhajala iz prostorskih podatkov (osnovnih, izvedenih), ki so bili potrebni oziroma relevantni ter hkrati na voljo oziroma v okvirih racionalnega dela (časa in denarja) dosegljivi.

Ko je bil opravljen nabor podatkov vključenih v model ranljivosti, je bil oblikovan t. i. model vrednostnega opisa podatkov. To pomeni, da je bila ranljivost izražena z enotami vpliva, **z lestvico vrednosti med dvema poloma sprejemljivosti posega**. Ugotavljano je bilo, v kakšnem medsebojnem odnosu so posamezne ocene vpliva in prostorski podatki, to pomeni, da je bila vsaki kategoriji posameznega podatka, ki je bil vključen v model, pripisana ocena iz predhodno opredeljene lestvice (npr. od 0 – ni vpliva do 5 – nedopusten vpliv) in ta ocena je bila nato posredno vezana na vsako celico. Pri določanju stopnje ranljivosti so bili upoštevani pogoji, ki so izhajajo iz:

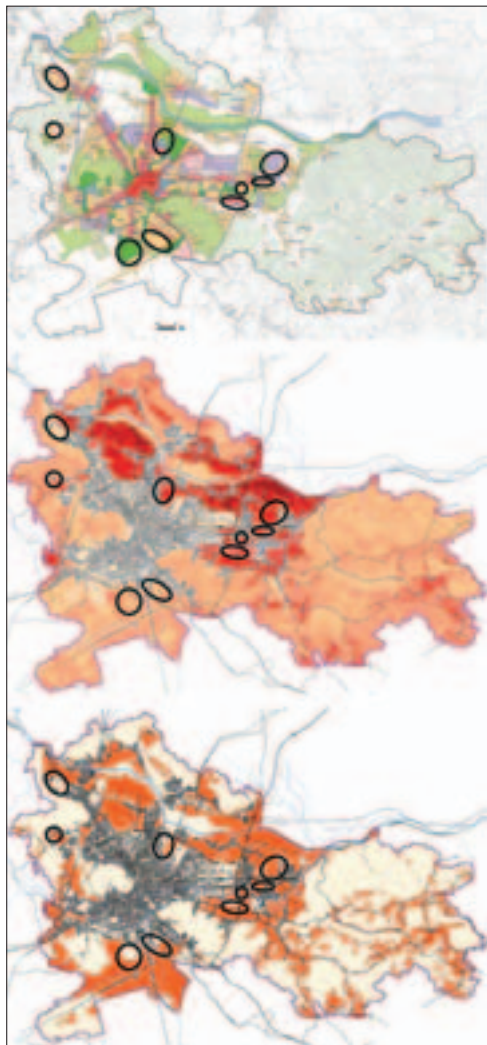
- naravnih značilnosti,
- dosedanje rabe,
- obremenitve okolja,
- ogroženosti prostora in
- normativov in standardov dopustnih obremenitev okolja.

Prekrivanje posameznih podatkovnih slojev oziroma vrednostnih opisov je bilo opravljeno z **neposrednim prirejanjem ocen**. To pomeni, da so bile ocene vplivov prirejene kombinacijam posameznih kategorij podatkov. Ta način je za izdelavo modela ranljivosti bolj smiseln, saj temelji na predpostavki, da je pri opredeljevanju bolj ali manj ranljivih območij ključna sopojavnost določenih prostorskih prvin.

Analiza ranljivosti pridelovalnega potenciala se je izkazala kot učinkovito orodje presoje, saj je bilo moč objektivno ugotoviti stopnjo in obseg vpliva različnih večjih razvojnih območij (obkrožena območja na sliki 2) na kmetijska zemljišča. Analiza ranljivosti pridelovalnega potenciala (slika 2, v sredini) v primerjavi z informacijo o t. i. najboljših kmetijskih zemljiščih kot formaliziranim prostorskim podatku (slika 2, spodaj) nudi neprimerno bolj relevantno informacijo o kakovosti kmetijskih zemljišč. Bistvena prednost analize ranljivosti v primerjavi z uporabo osnovnih prostorskih podatkov je zmožnost upoštevanja specifičnosti konkretnega prostorsko načrtovalnega oziroma presojevalnega problema. Ena ključnih pomanjkljivosti vrste okoljskih presoj je, da temeljijo zgolj na ugotavljanju dejstva prostorskega posega v posamezno, praviloma formalno varovano območje, ne upoštevajo pa specifičnosti načrtovanega posega in takšnega območja, režima oziroma varovanih vrednot v takšnem območju, torej



Slika 1: Zasnova modela ranljivosti.



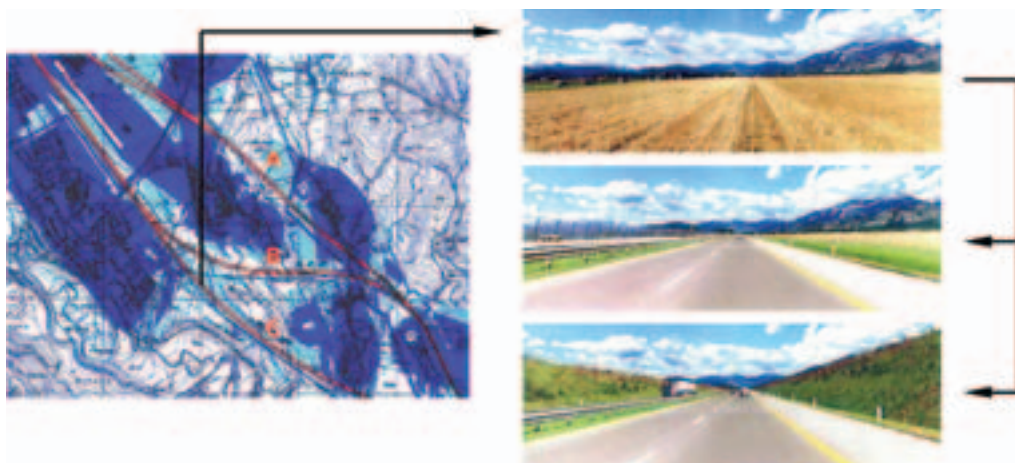
*Slika 2: Presoja vplivov Prostorske zasnove Mestne občine Ljubljana (Prostorska zasnova ... 2002; zgoraj, zasnova namenske rabe prostora) na pridelovalni potencial kmetijskih zemljišč (Mlakar in sod. 2001; v sredini, ranljivost pridelovalnega potenciala kmetijskih zemljišč, temneje – bolj ranljivo) ter primerjava z območji najboljših kmetijskih zemljišč (spodaj).*

ne ugotavljajo stvarno pričakovanega vpliva. Vedenje o tipu posega v okviru presoje kompleksnega plana je pomembno, saj določen tip posega (npr. stanovanjsko območje) pomeni uničenje tal, določen tip posega (npr. rekreacijsko območje) pa lahko le zmanjšanje intenzitete pridelave.

Informacija o pridelovalnem potencialu na celotnem območju občine je lahko dala objektivno oceno o sprejemljivosti vpliva na posameznem območju. O sprejemljivosti vpliva na posamezni lokaciji namreč ni možno soditi, če ne vemo, do kakšnih vplivov bi prišlo v drugih delih prostora.

#### **4 Povezanost z načinom razmišljanja v alternativah**

Vprašanje alternativ se navezuje na eno temeljnih predpostavk uspešnosti okoljevarstvenega delovanja v okviru prostorskega načrtovanja, namreč, da se varstvene zahteve v presojah vplivov na okolje



Slika 3: Primer prostorske izboljšave (izbor okoljsko (najbolj) sprejemljive variante trase avtoceste) in tehnološke oziroma prostorsko ureditvene izboljšave (poglobitev trase avtoceste zaradi zmanjšanja obremenitve okoliški naselij s hrupom ter zasaditev brežin) (Primerjalna ... AC ... Vrba–Črničev 1998).

lahko uveljavijo samo preko izbire alternative, ki je za okolje najmanj škodljiva (Marušič 1993, 70). Predlagatelj posega običajno lahko uresniči cilje na različne načine, vsak od teh načinov pa ima različne vplive na okolje. Ob identični uresničitvi ciljev je smiselno vedno izbrati tisto alternativo, ki v najmanjši meri vpliva na okolje.

Rezultat analize ranljivosti je prostorizirana informacija o bolj ali manj občutljivih delih prostora zaradi izvedbe določenega posega ali dejavnosti. Ugotovitve, pridobljene z analizo ranljivosti, narekujejo dvojno delovanje v postopku prostorskega načrtovanja, ki se navezuje na dve siceršnji možni obliki reševanja okoljskih problemov (Marušič 1993):

1. Ugotovitve lahko narekujejo prostorske oziroma lokacijske izboljšave, spremembe mesta posega oziroma izoblikovanje **prostorskih alternativ**. To pomeni uveljavljanje varstvenih izhodišč z iskanjem za okolje najmanj obremenjujočega prostorskega položaja.
2. Če se ranljivemu območju ni moč izogniti, pa opozarjajo na potrebo po tehnoloških izboljšavah, spremembah tehnologije ali izoblikovanju **tehnoloških alternativ** oziroma prostorsko ureditvenih (oblikovalskih) izboljšavah. To pomeni uveljavljanje varstvenih izhodišč s pomočjo za okolje najmanj obremenjujoče tehnologije obratovanja neke dejavnosti oziroma s pomočjo izvedbe podrobnejših prostorskih ureditev na način, da se omilijo negativni vplivi posega na okolje.

Okoljevarstveno delovanje v okviru prostorskega načrtovanja je prevečkrat omejeno zgolj na presojanje okoljske sprejemljivosti ponujenih možnosti, brez vedenja, ali obstajajo še kakšne druge možnosti. Analiza ranljivosti služi že iskanju lokacij oziroma alternativ posega. Če je pri analizi uporabljen rastrski sistem, potem celo vsaka celica, ki pomeni osnovno informacijsko enoto, postane posebne vrste alternativa. Na ta način so okoljevarstvene zahteve vključene v poseg že na samem začetku, saj alternativ, ki posegajo v ranljivejša območja ali v območja nedopustnega vpliva, sploh ne predpostavimo, razen seveda, če izkazujejo izredno privlačnost za sam poseg, pri čemer pristopimo k prikazu varovalnih in razvojnih vidikov v primerjalni študiji variant.

V okviru same primerjave variant lahko te prostorsko prekrijemo z modelom ranljivosti in variante primerjamo, ugotavljamo, katera od alternativ bi povzročila najmanjše vplive na posamezne okoljske prostorske sestavine (s pomočjo delnih modelov ranljivosti) oziroma na celoto (s pomočjo skupnega modela ranljivosti). Vplive je možno tudi numerično izraziti (z dolžino poteka ali obsegom zasedbe območij z različno stopnjo ranljivosti) in pridobiti objektivnejšo sodbo o sprejemljivosti posamezne primerjane variante.

## 5 Sklep

Analiza ranljivosti omogoča preseganje ravni okoljskih poročil, izdelanih zgolj na temelju subjektivnih, ekspertnih sodb. Analiza ranljivosti odkriva sprejemljivost posegov v kontekstu varstva okolja in posameznih okoljskih sestavin na širšem obravnavanem območju. S tem je omogočena objektivnejša sodba o sprejemljivosti plana na posameznem območju ter primerjava stopnje sprejemljivosti posameznega območja z ostalimi potencialnimi območji za umestitev določenega posega.

Analiza ranljivosti omogoča preseganje pasivnega okoljevarstvenega delovanja, omejenega zgolj na presojanje ponujenih možnosti. Z vnaprejšnjim odkrivanjem bolj občutljivih delov prostora služi že kot optimizacijsko orodje pri umeščanju posegov in dejavnosti, s čimer dobiva zahteva Direktive o presoji vplivov glede izvedbe presoje med pripravo plana še večjo operativno vrednost. Cilj okoljske presoje je namreč izboljšanje plana in s tem povečanje njegove okoljske sprejemljivosti.

Povsem na mestu bi bilo vprašanje, ali je lahko analiza ranljivosti, ki pomaga umeščanju posamezne dejavnosti v prostor, tudi temelj za presojo sprejemljivosti te dejavnosti, oziroma ali je potem taka presoja sploh še potrebna. Proces prostorskega načrtovanja ni linearen, rešitve pa ne vedno optimalne v pogledu upoštevanja vseh okoljevarstvenih izhodišč, toliko bolj, če gre za pripravo kompleksnega plana – prostorskega akta. Prostorsko načrtovanje je označeno tudi kot usklajevanje interesov. Tudi če pri načrtovanju posameznega posega izhajamo iz analize ranljivosti, se v praksi redko zgodi, da je ta poseg dejansko umeščen na najmanj ranljivo območje, temveč je lokacija rezultat usklajevanja različnih interesov v prostoru. Presoja sprejemljivosti tega posega s pomočjo modela ranljivosti torej odkriva, kakšen je odmik sprejemljivosti od idealne situacije, primerjajoč stopnjo ranljivosti na usklajeni lokaciji ter stopnjo sprejemljivosti na hipotetično idealni lokaciji iz okoljskega vidika, kar vse omogoča ponoven razmislek o končnih predlogih in morebitna vračanja v usklajevanje.

## 6 Viri in literatura

- Bina, O. 2001: Strategic environmental assessment of transport corridors. Lessons learned comparing the methods of five Member States. London, European Commission, DG Environment, Environmental Resources Management: 103 str.
- Directive 2001/42/EC of the European Parliament and of the Council of 27 June 2001 on the assessment of the effects of certain plans and programmes on the environment. Official Journal L 197, 21/07/2001 P. 0030–0037.
- Hopkins, L. 1977: Methods for generating land suitability maps. A comparative evaluation. Journal of the American Institute of Planners, 43, 4: 386–400.
- Implementation of Directive 2001/42 on the assessment of the effects of certain plans and programmes on the environment. 2003. Luxembourg, European Commission, Office for Official Publications of the European Communities: 63 str.
- Marušič, J. 1993: Optimizacijski postopki kot sredstvo za vključevanje varovalnih presoj v celokupno in z okoljem skladno prostorsko načrtovanje. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Katedra za krajinsko arhitekturo: 86 str.
- Marušič, J. 1994: Strokovne podlage za izdelavo predpisa o podrobnejši vsebini in metodologiji za izdelavo študije za celovito presojo vplivov na okolje. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Inštitut za krajinsko arhitekturo: 50 str.
- Marušič, J., Mlakar, A. 2004: Vključevanje analiz ranljivosti v različne ravni urejanja prostora. Zaključno poročilo. Raziskovalno-razvojni projekt v okviru ciljnega raziskovalnega programa »Konkurenčnost Slovenije 2001–2006«. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za krajinsko arhitekturo in LUZ d. d., Ministrstvo za okolje in prostor, Ministrstvo za šolstvo znanost in razvoj: 124 str.



- Mlakar, A. 1999: Alternative proposals and landscape protection. *Agriculturae conspectus scientificus*, 64, 4: 275–285.
- Mlakar, A., Marušič, J. 2000: Ranljivost okolja in vprašanje prostorske informacijske enote, kot ga je nakazal projekt ONIX-GPOV. *Urbani izziv*, 11, 1: 96–101
- Primerjalna študija variant DV 2 × 110 kV Polje – RTP Vič. 2002. Ljubljana, LUZ d. d., Elektro Ljubljana d. d.: 78 str.
- Primerjalna študija variant za avtocesto na odseku Vrba–Črnivec. 1998. Ljubljana, LUZ d. d., Ministrstvo za okolje in prostor, Urad za prostorski razvoj: 89 str.
- Prostorska zasnova. Prostorski plan Mestne občine Ljubljana. 2002. Ljubljana, Mestna občina Ljubljana: 132 str.
- Wood, C. 1995: Environmental impact assessment. A comparative review. Harlow, Longman Scientific & Technical: 337 str.

## GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SISTEM KOT ORODJE ZA DOLOČANJE PRIORITETNIH OBMOČIJ PRENOVE MEST

**dr. Breda Mihelič in Igor Bizjak**

Urbanistični inštitut Republike Slovenije

Trnovski pristan 2, 1000 Ljubljana

[breda.mihelic@uirs.si](mailto:breda.mihelic@uirs.si), [igor.bizjak@uirs.si](mailto:igor.bizjak@uirs.si)

UDK: 711.4:659.2:004

### IZVLEČEK

#### **Geografski informacijski sistem kot orodje za določanje prioriteten območij prenove mest**

V prispevku je predstavljen model GIS, ki omogoča ne le zbiranje in analiziranje podatkov ter spremljanje stanja v prostoru, pač pa tudi določanje prioriteten oziroma nujnih območij prenove. Model temelji na identifikaciji ključnih kazalcev arhitekturno urbanističnega, socio-demografskega, ekonomskega in ekološkega stanja v pozidanem mestnem prostoru. Za vsakega od teh kazalcev določa spremenljivke, prvine in način vrednotenja. S pomočjo meril vrednotenja, ki se določajo v odnosu do povprečne vrednosti oziroma veljavnih normativov, ocenjuje relativne vrednosti prostor. Z dodajanjem uteži, ki naj bi jih mesto dodajalo v skladu z razvojnimi strategijami, pa je mogoče izbrane prostorske enote poljubne velikosti glede na nujnost prenove razvrščati v vrednostne kategorije oziroma prioriteten liste.

Na koncu je dodan praktičen preizkus modela na izbranem območju mestnega središča Ljubljane in analiza prednosti in slabosti modela.

### KLJUČNE BESEDE

geografski informacijski sistem, urbana prenova, urbanizem, prostorsko planiranje

### ABSTRACT

#### **GIS as a tool for determining priority areas in town renovation**

The article presents a GIS model that enables not only collecting and analyzing data as well as monitoring the spatial status but also enables determination of priorities or urgent areas for renovation. The model is based on the identification of key indicators for architectural and urban, socio-demographic, economic and ecological conditions in the built up urban areas. For each of these indicators the variables, sub-variables and criteria for evaluation have been determined. The criteria for evaluation that have been determined in relation to the average value or valid standard enable definition of the relative values of space. By adding weights, chosen by the cities in accordance to their development strategies, it is possible to classify the selected spatial units into categories or priority lists, indicating the need for renewal.

In conclusion there is a practical test of the model on a selected area in the urban centre of Ljubljana and the analysis of advantages and weaknesses of the model.

### KEYWORDS

geographical information system, urbanism, regional planning, town planning, urban renovation, town renovation

## 1 Izhodišča

Evropska zgodovinska mesta se soočajo s podobnimi problemi – dezindustrializacijo, suburbanizacijo in demografskimi spremembami. Vsi ti procesi imajo za posledico odločilne spremembe v socialno ekonomski, fizični in okoljski strukturi mest in se še posebej negativno odražajo v mestnih središčih: v izgubljanju rezidenčne funkcije, v slabšanju življenskih in bivalnih pogojev, v staranju mestnega prebivalstva in nenazadnje v slabem vzdrževanju stanovanjskega fonda in zlasti kulturne dediščine.

V nasprotju s temi aktualnimi tendencami pa strategija trajnostnega razvoja predvideva, da se bo bodoči mestni razvoj vedno bolj usmerjal v že pozidan prostor, kvaliteta mest pa se vedno bolj meri tudi po tem, kako upravljajo z grajenim prostorom, s svojo kulturno in naravno dediščino in po tem, kakšen življenski prostor nudijo mestnim prebivalcem.

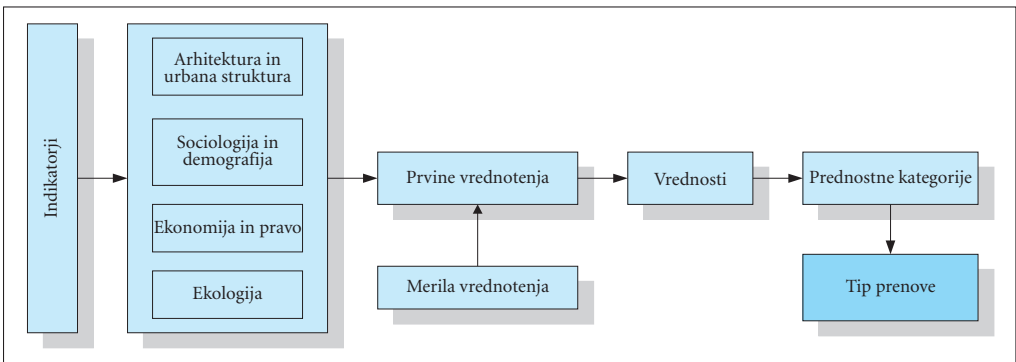
V teh pogojih postaja mestna prenova vedno bolj pomembna naloga. Mesta se vedno bolj zavedajo potrebe po prenovi, oživljanju in reurbanizaciji mestnih središč ter izboljšanju kvalitete življenja v njih, pogosto pa še niso razvila ustreznih inštrumentov, s katerimi bi lahko hitro in ustrezno reagirala na negativne težnje v prostoru in jih tekoče sproti reševala.

V okviru mednarodnega projekta Reurban Mobil: Mobilising Reurbanisation on Condition of Demographic Change (medmrežje 5), ki je potekal v 5. okvirnem programu EU v letih med 2002 in 2005, je Urbanistični inštitut RS razvil računalniško podprt model za analizo mestnega prostora, ki bi omogočil mestom sprotno evidentiranje stanja v prostoru ter hitro reagiranje na negativne procese, sprotno preverjanje nujnosti prenove in oblikovanje inštrumentov in politik zanjo.

Geografski informacijski sistem (GIS) je v prostorskem planiranju že dobro uveljavljeno orodje za zbiranje, spremljanje, analiziranje, modeliranje in procesiranje različnih podatkov, vendar pa možnosti njegove uporabe za analizo in vrednotenje potencialnih območij prenove doslej niso bile zadosti raziskane in tudi ne ustrezno preizkušene (Brown in Perrott 2004, medmrežje 6). Naš namen je bil torej pokazati in preveriti, kako lahko geografski informacijski sistem uporabimo v načrtovanju prenove mestnih območij.

## 2 Metodologija

Predlagani model GIS vključuje kazalce (medmrežje 2, 5, 7), ki pokrivajo vse ključne vidike mestnega razvoja. Zasnovan je kot odprt sistem, ki ga je mogoče uporabiti za vrednotenje prostora na različnih ravneh, na ravni mesta, mestnega središča, četrti ali stavbnega bloka in sicer tako, da omogoča uporabnikom samostojno odločati, kateri in koliko kazalcev je ključnih za posamezno situacijo in izbrati merila vrednotenja, ki najbolj ustrezajo ciljem in ravni analize.



Slika 1: Metodologija za določanje prednostnih območij.

Priprava modela GIS je obsegala naslednje korake:

- identificiranje ključnih kazalcev in priprava podatkovne baze,
- izdelava metodologije za analizo, vrednotenje in izbor prioriternih območij prenove
- testiranje metodologije na izbranem območju mestnega središča Ljubljane.

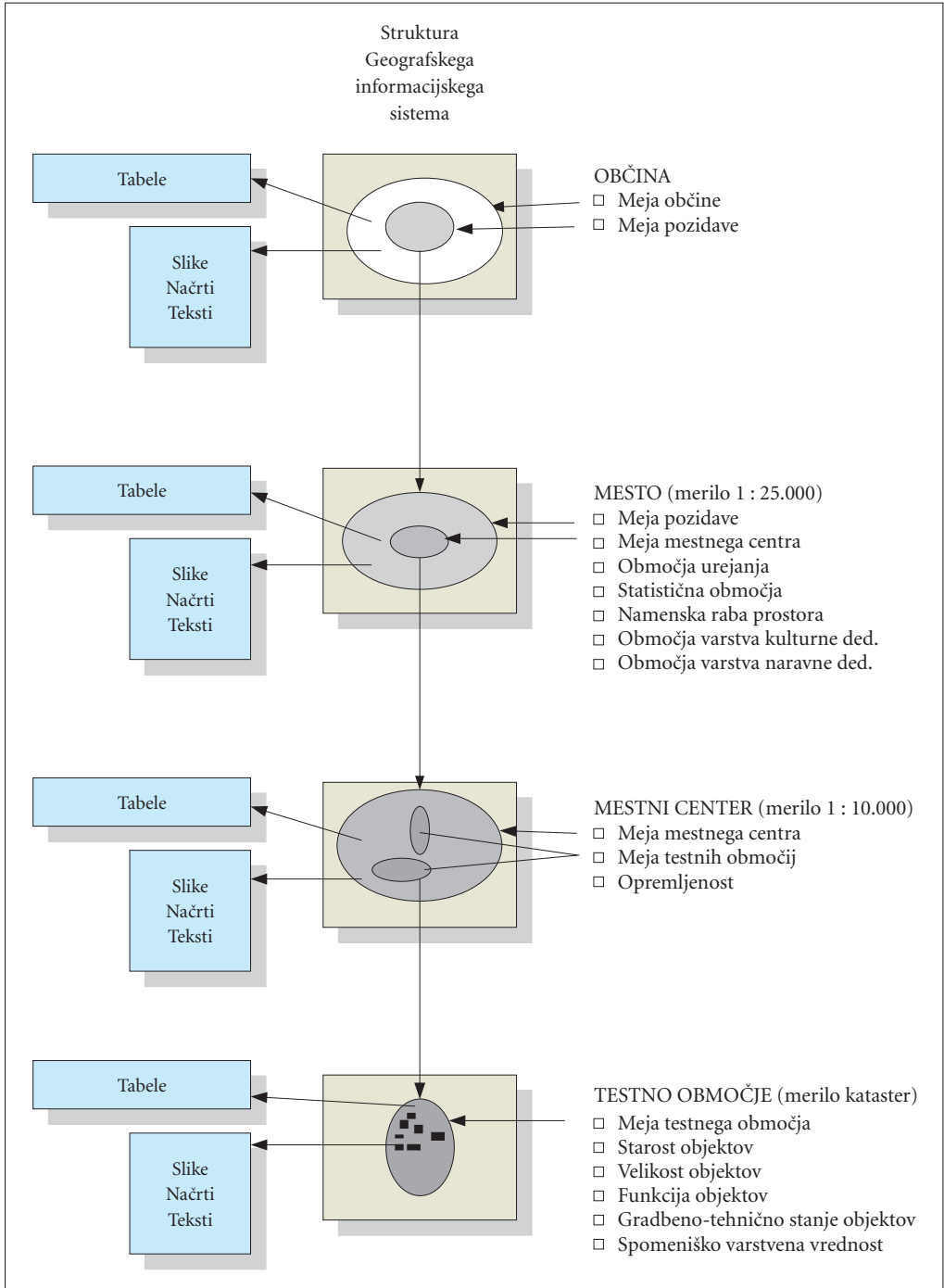
## 2.1 Identifikacija ključnih kazalcev in zasnova podatkovne baze

Projekt Reurban je bil že v izhodišču zasnovan interdisciplinarno. Že v prvi fazi so vse štiri discipline (arhitektura in urbanizem, sociologija in demografija, pravo in ekonomija ter ekologija) pripravile nabor ključnih indikatorjev za prenovo in ta je bil osnova za pripravo zasnove podatkovne baze. Podatki so bili pripravljani kot karte, kot tabele, kot teksti ali kot slike. Testni model je bil izdelan za analizo fizične strukture izbranih območij.

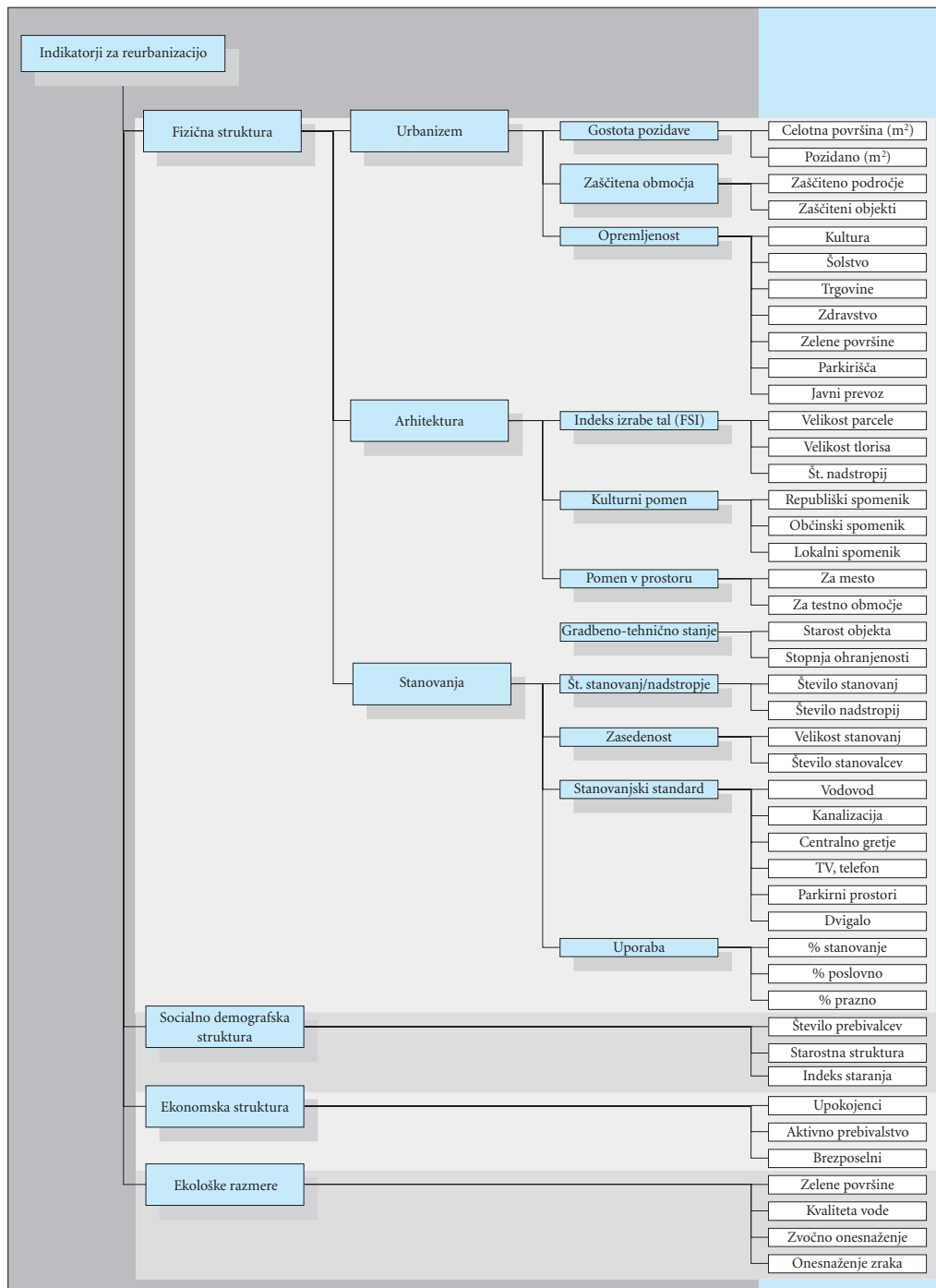
V zasnovi GIS smo kot ključne kazalce fizičnega stanja v prostoru določili: kvaliteto urbanega prostora, kvaliteto arhitekture in kvaliteto stanovanj. Za vsakega od njih smo določili glavne spremenljivke, prvine vrednotenja in način vrednotenja. V besedilu uporabljamo naslednje slovenske izraze, ki ustrezajo uveljavljenim angleških izrazom: s terminom kazalci poimenujemo indikatorje, s terminom spremenljivke glavne variable, ki določajo kazalce in s terminom prvine vrednotenja poimenujemo sub-variable, s katerimi merimo spremenljivke.

*Preglednica 1: Ključni kazalci.*

Kazalci	Spremenljivke	Prvine vrednotenja	Način vrednotenja
Urbani prostor	Gostota pozidave	Površina Pozidan prostor	Razmerje
	Urbani standard (opremljenost)	Kultura Vzgoja Oskrba Zdravstvo Parkirna mesta Javni transport	Kapaciteta + dostopnost
	Kulturno zgodovinska vrednost	Zaščitena območja Zaščiteni objekti	Površina + kategorija Število + kategorija
Arhitektura	Stopnja izkoriščenosti zemljišča/FSI	Velikost parcele Pozidana površina Število nadstropij	Razmerje
	Gradbeno tehnično stanje	Starost Ohranjenost	Razmerje
	Spomeniška vrednost		Kategorija
Stanovanja	Tip stavbe po številu stanovanj	Število stanovanj/nadstropje	Razmerje
	Zasedenost stanovanj	Velikost stanovanja Število stanovalcev	Razmerje
	Standard stanovanj	Minimalni Normalni Visok	Razmerje
	Uporaba stanovanj	Stanovanjska Poslovna Prazna	Razmerje



Slika 2: Zgradba GIS-nivoji analize.



Slika 3: Kazalci stanja v prostoru.

**Kvaliteto urbane strukture** smo vrednotili z naslednjimi spremenljivkami: gostota zazidave, urbani standard in kulturna vrednost območja.

**Gostota zazidave** je razmerje med celotno površino in zazidano površino, ki kaže na kompaktnost mesta in je hkrati tudi pokazatelj intenzivnosti socialnega življenja. Gostota pozidave v mestnih središčih je bolj ali manj zgodovinsko pogojena, vendar pogosto ne ustreza več današnjim merilom kvalitete življenja, zato se nekatera mesta odločajo za zmanjševanje gostote pozidave v mestnih jedrih z urejanjem novih odprtih površin, trgov ali parkov (npr. Leipzig, Marseille, Aix en Provence). Po drugi strani pa nehumano merilo nekaterih povojnih stanovanjskih sosesk oziroma mestnih območij, zgrajenih v skladu z doktrino CIAM zahteva tudi zgoščevanje zazidave z namenom doseganje višje kvalitete mestnega prostora. Skratka prevelika ali pa tudi premajhna gostota zazidave znižujeta kvaliteto bivanja v mestnem središču in povečujeta potrebo po fizični prenovi.

**Urbani standard** merimo z dobro opremljenostjo območja s ključnimi javnimi servisi (vrtci, šole, zdravstveni domovi, trgovina), njihovih kapacitet glede na število prebivalcev ter dostopnostjo do njih. Slaba opremljenost in slaba dostopnost do javnih služb znižujeta vrednost območja in posledično povečujeta potrebo po fizični in ekonomski prenovi.

**Kulturno zgodovinska vrednost območja** predstavlja obseg zaščitene območij kulturne dediščine, število zaščitene spomenikov in stopnja njihove zaščite (nacionalni spomeniki, lokalni spomeniki, registrirana dediščina). Večja koncentracija kulturnih spomenikov in dediščine dviguje kvaliteto območij, slabo vzdrževanje dediščine povečuje potrebo prenovi.

**Kvaliteta arhitekture** zavisi od stopnje izkoriščenosti zemljišč, kulturno zgodovinske vrednosti in gradbeno tehnično stanja.

**Stopnja izkoriščenosti zemljišča (FSI)** je razmerje med velikostjo parcele, zazidanostjo parcele in številom nadstropij. Maksimalna stopnja zazidanosti zemljišča zavisi od lege v mestnem prostoru in je določena z urbanističnim dokumentom. Kljub temu pa izboljšanje fizične kvalitete urbanega prostora zahteva pogosto tudi korekture v stopnji izkoriščenosti zemljišča s posegi v fizični prostor oziroma socialnimi instrumenti.

**Gradbeni tehnično stanje:** Gradbeno tehnično stanje smo vrednotili na osnovi starosti in ohranjenosti in ga ocenjujemo s tremi vrednostmi: novo ali pred kratkim prenovljeno, dobro in slabo, ocena pa je rezultat terenskega ogleda.

**Kvaliteta stanovanja** je odvisna od tipa stanovanjske stavbe, standarda stanovanja, zasedenosti in uporabe.

**Tip stanovanjske stavbe:** Vrednost stanovanja se meri glede na tip stanovanjske stavbe in številom stanovanj v nadstropju. Večjo kvaliteto imajo stanovanja v vilah ali manjših blokih in z manjšim številom stanovanj v nadstropju majhno.

**Zasedenost:** Zasedenost stanovanj je razmerje med velikostjo stanovanja in številom stanovalcev. Medtem ko je nizka stopnja zasedenosti stanovanja načeloma merilo kakovosti, pa je v mestnih središčih to lahko znak demografskih problemov. Za zgodovinska mestna središča, ki smo jih analizirali v projektu Reurban izjemno nizka stopnja zasedenosti stanovanj ni merilo kvalitete pač pa odraz demografskih sprememb, predvsem staranja prebivalstva, naraščanja števila majhnih in enočlanskih gospodinjstev in večanja števila enostarševskih družin. Območja, kjer prevladujejo slabo zasedena ali prazna stanovanja, torej zahtevajo prenovo strukture stanovanj.

**Stanovanjski standard:** Merila stanovanjskega standarda so komunalna opremljenost, opremljenost z dvigalom, parkirišči, skupnimi prostori itd., vendar za območja prenove niso posebej določena. Pravilnik o minimalnih tehničnih pogojih za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj, UL RS 45/2000 in 12/2002 pri nas sicer določa neke minimalne standarde, vendar ti veljajo predvsem za nova stanovanja, medtem ko za prenovo starejših niso definirana, vendar pravilnik dopušča možnost, da se mestnih središčih minimalne zahteve prilagodijo obstoječim možnostim.

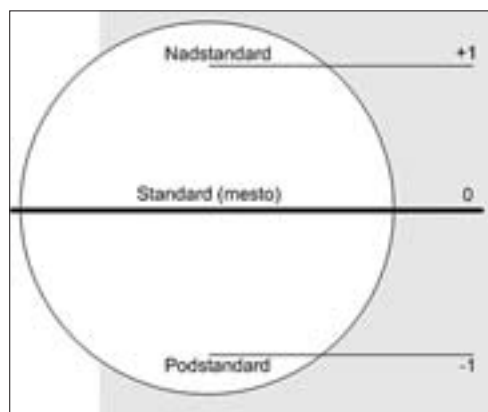
Merila za določanje stanovanjskega standarda so različna od države do države, vendar na splošno velja kot minimalni standard opremljenost z vodovodom, kanalizacijo in centralno kurjavo. Splošne defini-

cije nadstandardnih stanovanj nimamo, zato smo v testnem modelu kot nadstandardna stanovanja definirali tista, ki so maksimalno komunalno opremljena in imajo poleg tega tudi dvigalo in parkirno mesto.

**Uporaba stanovanj:** Eden najbolj perečih problemov mestnih središč je izgubljanje rezidenčne funkcije mestnih središč, selitev prebivalstva na periferijo in spreminjanje izvorne namembnosti stanovanj v poslovne prostorov. Te spremembe vrednotimo na podlagi razmerja med celotnim številom stanovanj in številom tistih, ki se uporabljajo za druge namene. Ohranjenosti rezidenčne funkcije mestnih četrti je pokazatelj kvalitete mesta.

## 2.2 Določitev meril za vrednotenje in vrednostnih kategorij ter dodajanje utež

Določitev meril je ena težjih nalog, ker nimamo sprejetih normativov, ki bi predstavljali referenčne vrednosti. Ljubljana, pa tudi druga mesta, ki so sodelovala v projektu Reurban, nimajo ustreznih normativov za gostoto pozidave v mestnih središčih, nimajo jasne definicije, kaj je socialno stanovanje, kaj je minimalni standard stanovanj in kakšno je nadstandardno stanovanje, nimajo sprejetih standardov glede dobre dostopnosti, ustrezne kapacitete javnih servisov na osebo ali površine zelenih površin na prebivalca itd. Zaradi tega smo v našem primeru normative določili na osnovi razmerja do povprečnih vrednosti, ki veljajo za posamezno mesto kot celoto. V kolikor je vrednost v izbranem območju višja od normativa, smo jo ocenili z +1, v kolikor je enaka normativu, smo jo ocenili z 0 in v kolikor je vrednost nižja od normativa, smo jo ocenili z -1.



Slika 4: Merila vrednotenja.

Na ta način smo dobili relativne vrednosti glavnih spremenljivk. Ker pa vse spremenljivke niso enako relevantne za prenovo, je treba relativnim vrednostim dodati različne uteži, s katerimi se ovrednoti njihov pomen za prenovo; npr. ko vrednotimo zgodovinska mesta z visoko kvalitetno kulturno dediščino, je treba večjo težo dati kulturno zgodovinski vrednosti območja vrednotenja, če pa gre za socialno degradirano območje, so pomembnejši socialni faktorji. V načelu naj bi te uteži določala mesta sama v skladu z njihovimi razvojnimi strategijami.

Z upoštevanjem relativnih vrednosti spremenljivk in uteži, ki smo jih dodali, smo dobili absolutne vrednosti spremenljivk, seštevek teh vrednosti pa je dal vrednost kazalca. Na osnovi ocenjenih vrednosti smo kazalce razdelili v 3 kategorije od 1–3, na podlagi teh kategorij pa smo določili nujnost prenove posameznega območja. V kategorijo 3 smo uvrstili območja, ki izkazujejo največjo potrebo po prenovi, v kategorijo 1 pa območja, ki izkazujejo najmanjšo potrebo po prenovi. Vrsto prenove smo določili na podlagi ocene posameznega indikatorja. V kolikor je imel najslabšo vrednost indikator stanovanjske prenove, smo torej predlagali kot prioritarno prenovo stanovanjskega fonda, v kolikor je bila najslabše ovrednotena kvaliteta urbane strukture, se mora prenova prvenstveno osredotočiti na izboljšanje le te.



Preglednica 2: Primer uteži.

Kazalci	Glavne spremenljivke	Uteži
Kvaliteta urbanega prostora	Gostota zazidave	20 %
	Urbanistični standard	40 %
	Kulturno zgodovinska vrednot	40 %
Kvaliteta arhitekture	Stopnja izkoriščenosti zemljišča	20 %
	Spomeniška vrednost	40 %
	Gradbeno tehnično stanje	40 %
Kvaliteta stanovanj	Stavbni tip po številu stanovanj	25 %
	Zasedenost stanovanj	10 %
	Stanovanjski standard	50 %
	Uporaba	15 %

Računalniška metoda za vrednotenje in določanje prioritetenih območij prenove je zasnovana tako, da lahko mesta na osnovi prioritet, ki jih določijo, vrednotijo območja z vsemi indikatorji ali pa samo tistimi, ki so pomembna za posamezna območja oziroma probleme. Pomembno pa je, da zbirajo vse tiste podatke, ki so pomembni za vrednotenje različnih problemov in na različnih ravneh; za vrednotenje velikih območij, kot so npr. mestne četrti ali celo mestna naselja, morajo upoštevati vse kazalce, medtem ko za manjša območja, kot so npr. kareji, ki so po našem mnenju najprimernejše enote za načrtovanje in izvajanje prenove, vsi kazalci ne prispevajo k bolj objektivni oceni stanja in jih je pri vrednotenju mogoče izpustiti.

### 3 Izdelava GIS-aplikacije in preizkus metode

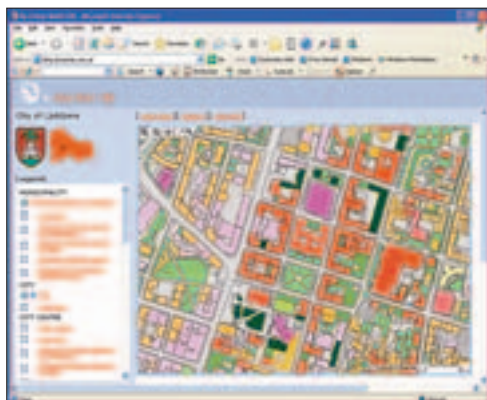
#### 3.1 Izdelava GIS-aplikacije

Pogoj za izdelavo GIS-aplikacije je bil, da mora aplikacija omogočati dostop do baze podatkov in izdelavo zelenih analiz z zbranimi podatki na čim lažji možni način. Logična izbira je bila uporaba aplikacije preko spletnega vmesnika. Na tak način lahko vsi uporabniki, ki imajo dostop do svetovnega spleta, aplikacijo uporabljajo. Programska oprema, ki smo jo v ta namen uporabili je MapServer (medmrežje 3), MS Access baza podatkov in rutine izdelane v ActivServerPage okolju.

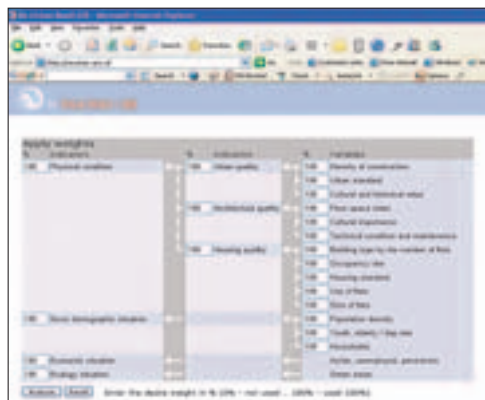
MapServer je razvojno okolje za izdelavo GIS aplikacij narejeno po OpenSource (medmrežje 4) standardih. OpenSource pomeni, da lahko program in njegovo kodo vsakdo prosto uporablja, jo dopolnjuje in izboljšuje. MapServer so razvili na oddelku za naravne vire (Department of Natural Resources) na Univerzi Minnesota v sodelovanju z NASA. Njegova prednost je v tem, da deluje tako na spletnih strežnikih v MS Windows okolju kot tudi na strežnikih v Linux okolju. MapServer ni popoln GIS sistem, saj mu manjka veliko funkcij, ki jih imajo pravi GIS sistemi. Dopolnjuje pa možnost, da mu s pomočjo raznih skriptov kot so PHP, Java Script in Activ Server Pages (ASP) dodamo manjkajoče funkcije in ga približamo dani nalogi.

MapServer zna prikazovati ESRI shape datoteke, geokodirane tiff, jpg in png datoteke in je tako idealen za izdelavo geografsko orientiranih spletnih aplikacij, saj je pri nas velika večina prostorskih podatkov na voljo prav v teh formatih. Tako odpade zamudno pretvarjanje iz formata v format, ki velikokrat vključuje tudi uporabo drage programske opreme, potrebne za taka pretvarjanja.

Za potrebe aplikacije smo morali poleg uporabe MapServerja, izdelati še nekaj dodatnih programskih rutin za vnos uteži in preračunavanje podatkov na podlagi vnesenih uteži. Te smo izdelali s pomočjo ASP in MS Accessove baze podatkov.



Slika 5: Spletni vmesnik.



Slika 6: Vnos uteži preko spletnega vmesnika.

### 3.2 Preizkus metode na izbranem območju

Model smo preizkusili na izbranem območju mesta Ljubljane, na območju Miklošičev park. Izbrano območje obsega prostor med Ljubljano na jugu in železniško postajo na severu, Slovensko na zahodu in Resljevo na vzhodu, torej območje secesijske Ljubljane, ki razpolaga s kvaliteto kulturno dediščino, obenem pa so zanj značilni staranje prebivalstva, naraščanje števila upokojencev, praznjenje stanovanj, izjemno nizka stopnja zasedenosti stanovanj, upadanje urbanega standarda, prometni problemi, slabo vzdrževanje stavbnega fonda, nizek stanovanjski standard itd. Metodo smo testirali tako, da smo kot enoto obravnave izbrali kare med štirimi ulicami, vsakega posebej analizirali, določili prvine vrednotenja in merila, nato smo jih ovrednotili in kategorizirali ter na osnovi tega določili, kateri od njih izkazuje največjo potrebo po obnovi.



Slika 7: Sociodemografska analiza – kategorije prednostnih območij prenove.



Slika 8: Arhitektonsko urbanistična analiza – kategorije prednostnih območij prenove.



*Slika 9: Združeni analizi sociodemografske in arhitektonsko urbanistične analize prednostnih območij.*

## 4 Sklep

### 4.1 Prednosti modela GIS

Testiranje modela na izbranem območju mestnega središča Ljubljane je pokazalo, da metoda ustreza zastavljenim ciljem in da jo je mogoče uspešno implementirati v praksi, seveda pod pogojem, da obstaja ustrezna podatkovna baza. Že sedaj je mogoče model uporabiti v tistih študijskih območjih, ki so administrativne in statistične enote, za katere mesta že sistematično in v krajših časovnih intervalih zbirajo in spremljajo podatke (npr. študijski območji v Leipzigu in Bologni). To dokazuje, da metoda dosega cilje, ki smo jih zastavili v začetku projekta.

### 4.2 Slabosti modela GIS:

Testiranje modela na izbranem primeru Ljubljane pa je pokazalo na problem pomanjkljivih podatkov, ki onemogočajo izdelavo ustrezne podatkovne baze, potrebne za izvedbo modela. Mesto Ljubljana namreč podatkov, ki so relevantni za prenovu, ne zbira in ne spremlja sistematično v krajših časovnih intervalih, nima direktnega dostopa do obstoječih baz podatkov z različnih sektorjev, statistični podatki, ki smo jih lahko pridobili za našo raziskavo, pa so za manjša območja slabo uporabni, ker se meje statističnih okolišev ne ujemajo s prostorskimi, poleg tega pa se tudi spreminjajo in je na njihovi osnovi nemogoče ugotavljati težnje v prostoru.

Drug problem je povezan z neobstoječimi urbanističnimi standardi za območja prenove in je bolj ali manj značilen tudi za druga mesta, ki so sodelovala v projektu. Brez referenčnih vrednoti je namreč težko objektivno vrednotiti obstoječe stanje v prostoru.

### 4.3 Priporočila

Za spremljanje stanja v prostoru, zlasti za potrebe prenove bi moralo mesto nujno razviti centralni informacijski sistem, povezan z zunanjimi podatkovnimi bazami različnih sektorjev (elektro,

vodovod, plinarna, davčni urad ...), v katerem bi zbiralo in posodabljal podatke na ravni posameznih objektov in jih tudi posredovalo načrtovalcem in izvajalcem prenove. Le s tako dobro razvejano in sproti posodobljeno informacijsko mrežo bo lahko uspešno izvajalo prostorsko politiko in se hitro odzivalo na probleme, ki se pojavljajo.

Poleg tega pa bi moralo mesto čimprej pristopiti k izdelavi minimalnih urbanističnih standardov za območje mestnega središča in njegovo prenovo ter določiti minimalne standarde za adaptacijo starih stanovanj kot cilj, na katerega bi moralo dolgoročno naravnati tudi svojo prostorsko in stanovanjsko politiko.

## 5 Viri in literatura

- A. R. Brown, K. J. Perrott 2004: Using GIS to evaluate Urban Renewal Strategies for the city of Chicago. Medmrežje 1: [http://www.uoguelph.ca/geography/research/geog4480\\_w2004/Group08/index.html](http://www.uoguelph.ca/geography/research/geog4480_w2004/Group08/index.html) (11. 10. 2005).
- Core Data Index to Historic Buildings and Monuments of the Architectural Heritage 1995: Recommendation R (95) 3 of the Committee of Ministers of the Council of Europe to member states on co-ordinating documentation methods and systems related to historic buildings and monuments of the architectural heritage. Medmrežje 2: <http://icom.museum/objectid/heritage/intro3.html>
- Malczewski J. 1999: GIS and Multicriteria Decision Analysis. Medmrežje 3: <http://mapserver.gis.umn.edu/>
- Medmrežje 4: <http://www.opensource.org/>
- MOL 2002: Trajnostni razvoj MOL: Strategija, Ljubljana.
- Prenova mestnih središč: metodologija za usmerjanje prenove in dolgoročni razvoj mestnih središč v slovenskih mestih, CRP Konkurenčnost Slovenije, UI RS 2002.
- Prenova središča Ljubljane, metodologija za izdelavo projekta prenove karakterističnih območij in preizkus metodologije na pilotnem projektu prenove Miklošičevega parka, (fin. MOL, Oddelek za kulturo in raziskovalno dejavnost), UI RS 2005.
- Re Urban Mobil: Mobilising Reurbanisation on Condition of Demographic Change (final report), Stadt Leipzig 2005
- Medmrežje 5: [www.reurban.com/outcomes/WP2](http://www.reurban.com/outcomes/WP2) (1. 10. 2005)
- Rui L. 2003: Urban renewal at neighbourhood level: a case study of Hangjiadun neighborhood in Wuhan city. Medmrežje 6: [http://www.itc.nl/library/Papers\\_2003/msc/upla/li\\_rui.pdf](http://www.itc.nl/library/Papers_2003/msc/upla/li_rui.pdf) (11. 10. 2005).
- UN Istanbul +5: A guide for istambul. Medmrežje 7: <http://hq.unhabitat.org/cdrom/governance/html/yellop23.htm> (11. 10. 2005).



# UPORABA GEOGRAFSKIH INFORMACIJSKIH SISTEMOV PRI SPREMLJANJU IN VREDNOTENJU INVESTICIJ S PODROČJA REGIONALNEGA RAZVOJA NA PRIMERU SPODBUJANJA RAZVOJA TURISTIČNIH DESTINACIJ

*Janez Nared*

Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

Gosposka ulica 13, 1000 Ljubljana

[janez.nared@zrc-sazu.si](mailto:janez.nared@zrc-sazu.si)

UDK: 711:659.2:004(497.4)

## IZVLEČEK

### **Uporaba geografskih informacijskih sistemov pri spremljanju in vrednotenju investicij s področja regionalnega razvoja na primeru spodbujanja razvoja turističnih destinacij**

Geografski informacijski sistemi so pomembno orodje pri spremljanju in vrednotenju regionalne politike, saj omogočajo zbiranje, analizo, uporabo in prostorski prikaz prostorsko referenciranih podatkov in informacij. Omogočajo celovit pregled nad razvojnimi procesi, vendar so večkrat tehnično zapleteni in dragi. Težavno je predvsem zbiranje ustreznih podatkov s področja posameznih teritorialnih enot (na primer občin) in o projektih, ki se na teh območjih izvajajo. V tej luči je izrednega pomena dobro zastavljen sistem spremljanja razvojnih aktivnosti ter poenoten način poročanja centralni instituciji, ki spremljanje in vrednotenje izvaja. V prispevku želimo prikazati uporabnost geografskih informacijskih sistemov na primeru vrednotenja prostorskih učinkov izbranih razvojnih projektov v Sloveniji.

## KLJUČNE BESEDE

geografski informacijski sistem, regionalna politika, spremljanje regionalne politike, vrednotenje regionalne politike, ekonomska geografija, turizem

## ABSTRACT

### **Geographical information systems as a tool in monitoring and evaluation of regional policy: the case of investments in tourist destinations**

Geographical information systems are an important tool in the regional policy monitoring and evaluation. They enable collection, analysis, usage and visualisation of the spatially referenced data. In this manner they are a holistic tools, which offer a continuous examination of development processes. But there are also some restrictions. Due to extensive data collection they are expensive and complicated. In order to make them useful, many data sources have to be activated (statistical data, monitoring data, etc.). Most of the desired data are based on continuous monitoring, where comparable reports have to be assured. For this reason the usage of geographic information systems is presented in order to find new approaches in regional development policy monitoring and evaluation.

## KEYWORDS

geographical information systems, regional policy, monitoring, evaluation, economic geography, tourism

## 1 Uvod

Ker se učinki javnih politik ne preverjajo na trgu, je treba njihovo izvajanje neprestano spremljati in vrednotiti, saj lahko le tako zagotovimo njihovo čim večjo prilagojenost zaznamim potrebam in postavljenim ciljem. Zato morata biti spremljanje in vrednotenje obvezni sestavini vsakega programskega cikla. Ta mora izhajati iz problemov področja ali območja, nakar se opredeli cilje programa ter sredstva, strategijo in ukrepe, s katerimi te cilje lahko dosežemo. Oblikovani program je treba pred izvajanjem preveriti ter ugotoviti, ali njegovi cilji odražajo realno stanje območja ali področja in če vodijo v reševanje ugotovljenih problemov.

Ob začetku izvajanja je treba začeti tudi s spremljanjem izvajanja, kjer ugotavljamo potek aktivnosti in morebitne odklone od zastavljenih strategij in ciljev. Spremljanje mora zagotavljati dovolj informacij za kasnejša vrednotenja, bodisi med izvajanjem projekta ali programa, kjer lahko izvajalcu aktivnosti damo dodatne predloge oziroma pripravimo popravke opredeljenih strategij, bodisi ob koncu izvedenih aktivnosti, ko ocenimo njihov uspeh v smislu finančne učinkovitosti in v smislu doseganja zastavljenih ciljev.

Med javne politike moramo šteti tudi regionalno politiko. Ta združuje različne ukrepe, ki se prepletajo s številnimi sektorskimi politikami, s čimer predstavlja njihov vezni člen, še pomembnejšo vlogo pa igra pri prerazporejanju sredstev oziroma pri podpiranju območij, ki v razvoju zaostajajo. Ker je razvitost regije rezultat številnih politik, mora regionalna politika skrbeti za čim večjo mero usklajenosti med njimi. Zato je treba pripraviti jasne razvojne programe, ki bodo temeljili na potrebah manj razvitih območij in ki bodo povezovali cilje različnih politik, saj se le na ta način lahko zagotovi sinergijske učinke, ki nastanejo na podlagi usklajenega izvajanja aktivnosti na nekem območju.

Ker je regionalna politika vezana na prostor, smo pri njenem izvajanju močno odvisni od prostorskih podatkov. Te lahko pridobimo iz pristojnih uradov, še večkrat pa se je treba opreti na spremljanje izvajanih aktivnosti, saj so le-te prostorsko zelo omejene in specifične. Zaradi specifičnosti izvajanih aktivnosti so podatki težje dosegljivi, težavna pa je tudi primerjava med posameznimi projekti. Zato bomo skušali v prispevku opozoriti na ključne probleme, s katerimi se soočamo pri uporabi geografskih informacijskih sistemov pri spremljanju in vrednotenju regionalne politike v Sloveniji. Pri tem se bomo omejili na projekte, ki se financirajo na podlagi Enotnega programskega dokumenta 2004–2006 (2003) (EPD) in ki se nanašajo na spodbujanje razvoja turističnih destinacij v letu 2004.

## 2 Podatki ... spremljanje ... vrednotenje

Ključni problem vrednotenja je pridobivanje ustreznih podatkov. To je posledica več različnih vzrokov (primerjaj: Indicators 2000, 11–12):

- 1. Podatki niso dostopni na zeleni teritorialni ravni.** Projekti s področja regionalne politike so zelo različni, saj rešujejo različne probleme, ki tarejo določeno regijo. Tako lahko posamezna aktivnost zadeva celotno regijo, lahko le njen del, večkrat pa učinki posamezne aktivnosti mejo regije tudi presejajo. Poleg tega lahko program opredeli območja, ki niso v skladu z območji, za katera zbira podatke uradna statistika. Kot primer lahko navedemo priključitev občine Ilirska Bistrica, ki spada v Notranjsko-kraško statistično regijo, pri pripravi regionalnega razvojnega programa k Obalno-kraški regiji. Drugi problem, ki zadeva dostopnost podatkov na zeleni teritorialni ravni, je njihova zaupnost. Slednje je posledica dejstva, da se številne aktivnosti odvijajo na zelo omejenem območju, kjer lahko pride do tako majhnih vrednosti posameznih kazalnikov, da jih uradna statistika zaradi upoštevavanja zaupnosti osebnih podatkov zakrije. Težava je tudi to, da se za manjše teritorialne enote zbira veliko manj različnih podatkov.
- 2. Zamik pri objavi uradnih statističnih podatkov.** Pomembno je, da pri vrednotenju razpolagamo z ažurnimi podatki, saj lahko le tako zaznamo spremembe, do katerih pride zaradi izvajanja aktiv-

nosti. Prav tako moramo razpolagati z dovolj kakovostnimi podatki, če želimo vrednotiti uspeh aktivnosti med izvajanjem, kot tudi po njihovem zaključku. Vendar je to v številnih primerih nemogoče, saj so uradni statistični podatki objavljeni z zamikom. Uporabnost podatkov je odvisna tudi od intervala med posameznimi merjenji. Tako lahko spremljamo določene kazalnike v mesečnih intervalih, medtem ko so popisni podatki le vsakih deset let. Zaradi tega so slednji neprimerni za vrednotenje regionalne politike, saj je interval daljši od enega programskega cikla.

### **3. Pomanjkljivosti posameznih informacij uradne statistike glede na potrebe specifičnega programa.**

Kot smo že omenili, so ukrepi regionalne politike različni in zajemajo zelo veliko različnih skupin deležnikov. Ti so lahko posamezna podjetja, posamezniki, specifične prebivalstvene skupine ... Uradna statistika pri tem ponavadi meri le celotne skupine prebivalstva, ne pa le izbranih deležnikov. Zato lahko večino statističnih podatkov uporabimo le za prikaz okvirnih razmer, veliko težje pa na njih prikazujemo učinke izvedenih aktivnosti. Velik problem je tudi že prej omenjeno pomanjkanje statističnih podatkov na želeni teritorialni ravni.

### **4. Nedosegljivost razčlenjenega podatka po posameznih panogah/podskupinah.**

Številni podatki se zbirajo le za celotne skupine prebivalstva in za vse gospodarske panoge skupaj, le redko pa lahko dobimo podatke, ki bi bili razčlenjeni na posamezne podskupine ali panoge. Tako lahko za neko območje obstajajo na primer podatki o dodani vrednosti na zaposlenega, veliko težje, če sploh, pa dobimo podatke o dodani vrednosti na zaposlenega v določeni panogi. Če s pomočjo regionalne politike podpiramo ukrepe le ene panoge, bi bili tovrstni podatki zelo želeni.

Zaradi navedenih razlogov je treba ob izvajanju vse aktivnosti spremljati in tako zagotavljati dovolj kakovostnih podatkov, s katerimi bi regionalno politiko oziroma njene ukrepe lahko vrednotili. Spremljanje posamezne aktivnosti je treba izvajati od njenega začetka do njenega konca, v želji po proučitvi vseh učinkov in vplivov pa tudi še določeno obdobje po koncu aktivnosti. Stalno spremljanje je potrebno zato, da zaznamo učinke projekta oziroma programa, kakor hitro ti nastanejo.

Namen spremljanja je tako zbiranje kakovostnih ustreznih podatkov in informacij, potrebnih za sledenje predhodno opredeljenim kazalnikom, ki služijo nadzoru nad izvajanjem programov in njihovem vrednotenju.

Pri spremljanju se je treba omejiti na tiste kazalnike, ki v največji možni meri odražajo uspeh ali neuspeh izvajanih aktivnosti. Slednje je velikokrat zapleteno, saj je težko narediti neposredno vzročno povezavo med kazalniki, realnimi razmerami in izvedenimi aktivnostmi. Veliko težav pri ugotavljanju učinkov nastane predvsem takrat, ko se na ožjem območju izvaja več ukrepov, saj imajo lahko ti podoben spekter vplivov, zaradi česar težko ovrednotimo vplive posamezne aktivnosti. Zapleteno je tudi spremljanje nepričakovanih vplivov, ki jih z v naprej opredeljenimi kazalniki ne moremo zajeti (Indicators 2000, 22).

Na podlagi podatkov, ki jih pridobimo iz statističnih baz in tistih, ki jih pridobimo s pomočjo spremljanja, lahko pristopimo k vrednotenju izvajanih aktivnosti.

Vrednotenje regionalne politike je stalen interaktivni proces, ki omogoča premišljeno načrtovanje aktivnosti in njihovo prilagajanje novonastalim razmeram ter spreminjajočim se potrebam. Je del življenjskega cikla politike in se ga lahko uporablja kot inštrument za izboljšanje politik na podlagi prepleta preteklih izkušenj in novih razvojnih priložnosti (Ridder 2000).

Namen vrednotenja je zagotoviti učinkovito rabo javnih sredstev, preveriti vzroke za javne intervencije, osvetliti uspešne zgodbe in preprečiti napačne odločitve v prihodnosti (Evaluation design 1999). Prav tako išče vrednotenje vzroke za uspeh ali neuspeh določenega programa ali politike ter s tem skrbi za okoliščinam prilagojeno izbiro ukrepov in instrumentov.

## **2.1 Spremljanje in vrednotenje regionalne politike v Sloveniji**

Čeprav Evropska komisija vsem članicam nalaga vzpostavitev učinkovitih sistemov spremljanja in vrednotenja, ju Slovenija še ni izoblikovala do mere, ki bi omogočala nemoteno spremljanje in vrednotenje.



Na nekdanji Javni agenciji Republike Slovenije za regionalni razvoj so sicer vzpostavili informacijski sistem ISARR, ki naj bi se polnil s podatki o projektih, na podlagi katerih bi bila možna potrebna vrednotenja, vendar ni bilo urejeno sistemsko zbiranje podatkov o projektih. Tako so informacije, ki jih sistem nudi, izredno pomanjkljive, kar otežuje vrednotenje dejanskih učinkov izvedenih projektov v stvarnosti. To je posledica nekaterih nedoslednosti v sistemu spodbujanja regionalnega razvoja, kjer bi morali biti ključni nastavki za oba procesa vzpostavljeni tako v postopku dodeljevanja pomoči, kjer bi se prejemnike obvezalo k sprotnemu poročanju, kot tudi v samih regionalnih razvojnih programih, ki morajo dajati dovolj izhodiščnih informacij, ki so potrebne za vrednotenje.

Obstoječi informacijski sistem nudi zaenkrat le seznam projektov z njihovimi najosnovnejšimi podatki (lokacijo, prejemniki sredstev, navezavami na različne razvojne programe), ostali podatki pa se razlikujejo od primera do primera. Ponekod so tako dodane ocene predvidenih horizontalnih vplivov (na okolje, človeške vire, informacijsko družbo in enake možnosti med spoloma), načrt financiranja in načrt izvajanja, vendar so ta področja le redko v celoti izpolnjena. Ključno je pomanjkanje podatkov o izvajanju projekta, zaradi česar ni možno zagotoviti enostavnega vrednotenja. Zato je treba do izpopolnitve informacijskega sistema zbirati podatke na samem terenu, kar pa je zamudno, še zlasti, če želimo dobiti podatke o vseh projektih ter podatke v različnih časovnih obdobjih, s čimer lahko opredelimo intenziteto učinkov izvedenih aktivnosti.

Kljub vsemu si lahko nadajamo, da bo informacijski sistem v prihodnosti zaživel in nudil dovolj informacij, ki jih bo moč uporabiti za samo vrednotenje izvedenih aktivnosti, kot tudi za številne uporabne znanstvene raziskave, pri katerih se bo lahko s pridom uporabljalo tudi geografske informacijske sisteme.

### 3 Vrednotenje izbranih projektov slovenske regionalne politike

Z vstopom v Evropsko unijo je postala Slovenija upravičena do pomoči evropskih strukturnih skladov, katerih sredstva lahko koristi na podlagi Enotnega programskega dokumenta (2003). V njem so jasno opredeljene prednostne naloge ter posamezni ukrepi, s katerimi želi Slovenija doseči svoje cilje – to je povečanje konkurenčnosti slovenskega gospodarstva, zmanjšanje razvojnega zaostanka za povprečjem Evropske unije, povečanje zaposlenosti in zagotovitev uravnoteženega regionalnega razvoja.

Naštete cilje skuša Slovenija doseči tudi preko spodbujanja razvoja turističnih destinacij, v okviru katerega se podpirajo investicije v turistično infrastrukturo in vlaganja na področju razvoja organizacijskih struktur.

V letu 2004 je bilo na področju spodbujanja turističnih destinacij odobrenih devetnajst projektov v skupni vrednosti 19.023.991.000 SIT, za katere je bilo namenjenih 6.527.452.000 SIT subvencij iz državnega proračuna in iz strukturnih skladov.

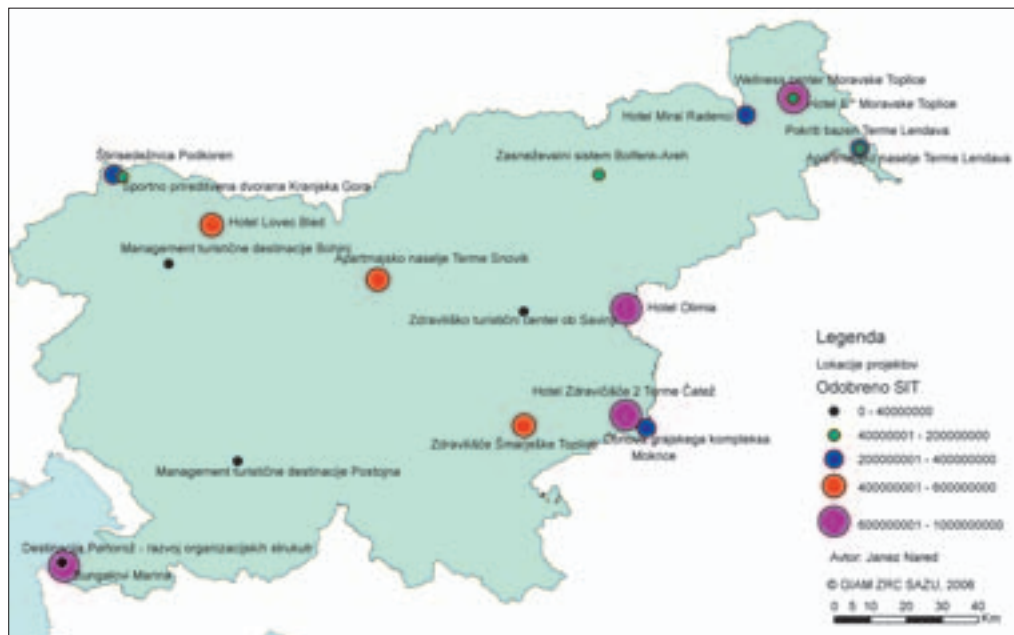
Glavnina sredstev je odpadla na izgradnjo turistične infrastrukture, manjši del pa je bil namenjen krepitvi organizacijskih struktur.

Večji investicijski projekti s področja turistične infrastrukture so se v prvi vrsti namenjali za povečanje nastanitvenih zmogljivosti (11 projektov), 2 projekta sta se odvijala na področju termalnih in zdravilnih vod, 2 na področju žičnic ter eden na področju turistično-rekreacijskih centrov.

Ker več projektov v času, ko smo zbirali podatke še ni bilo zaključenih, smo se odločili za podrobnejše vrednotenje treh projektov, in sicer investicij za izgradnjo:

- apartmajskega naselja (Terme Lendava),
- Wellness centra (Terme 3000 – Moravske toplice), in
- štirisedežnice Podkoren s sistemom umetnega zasneževanja v zgornjem sektorju (RTC žičnice Kranjska gora d. d.).

Zaradi namena prispevka se v okviru vrednotenja ne bomo poglobljali v dosežke izvedenih projektov, temveč se bomo osredotočili na možnosti in omejitve pri uporabi geografskih informacijskih sistemov pri vrednotenju izvajanih aktivnosti.



Slika 1: Izbrani projekti glede na lokacijo in prejeta sredstva.

### 3.1 Investicija v izgradnjo apartmajskega naselja (Terme Lendava)

Novo apartmajsko naselje sestavljata dva sklopa apartmajev: na vzhodni strani hotela Lipa so postavili kompleks 44 apartmajev, na zahodni pa je zgrajenih 40 apartmajev. Z novimi objekti so pridobili 4.200 m<sup>2</sup> bivanjskih površin s skupno 292 novimi ležišči. Poleg samih objektov so zgradili tudi 84 parkirnih mest ter dovozne poti (150 m), električno, vodovodno, kanalizacijsko, kabelsko in telefonsko napeljavo (250 m). Uredili so tudi razsvetljavo (250 m) in asfaltirali skupno 2.700 m<sup>2</sup> površin.

Z izgrajenim naseljem so povečali število nastanitvenih kapacitet in vplivali na spremenjeno strukturo gostov, saj so ciljna skupina novih pridobitev družine. Na letni ravni pričakujejo približno 53.000 nočitev, kar bi dosegli ob 50-odstotni zasedenosti. Vendar pa je zaenkrat zasedenost nižja (30%, 21.000 nočitev), saj nova ponudba še ni uveljavljena in prepoznavna.

Preglednica 1: Nastanitvene zmogljivosti, prihodi in prenočitve turistov v Lendavi za leto 2004 (vir: Statistični letopis 2005).

	Zmogljivosti		Prihodi turistov		Prenočitve turistov	
	sobe	ležišča skupaj stalna	vseh	tujih	vseh	tujih
Lendava/Lendva	143	239	11.518	5.677	52.255	30.403

Z izvedbo projekta se je število stalnih ležišč v kraju Lendava glede na leto 2004 povečalo za 94 %, če pa upoštevamo tudi pomožna ležišča, pa kar za 122 %. Po pričakovanjih se bo podvojilo tudi število gostov in nočitev. Če gledamo širše, je bila velika tudi sprememba v številu stalnih ležišč na ravni občine, saj je znašala 53,7 %. Na državni ravni je povečanje ležišč predstavljalo le še 0,4 %

Razširitev ponudbe je omogočila odprtje 25 novih delovnih mest, h katerim lahko prištejemo še vsaj 50 FTE, ki so nastali ob gradnji objektov.

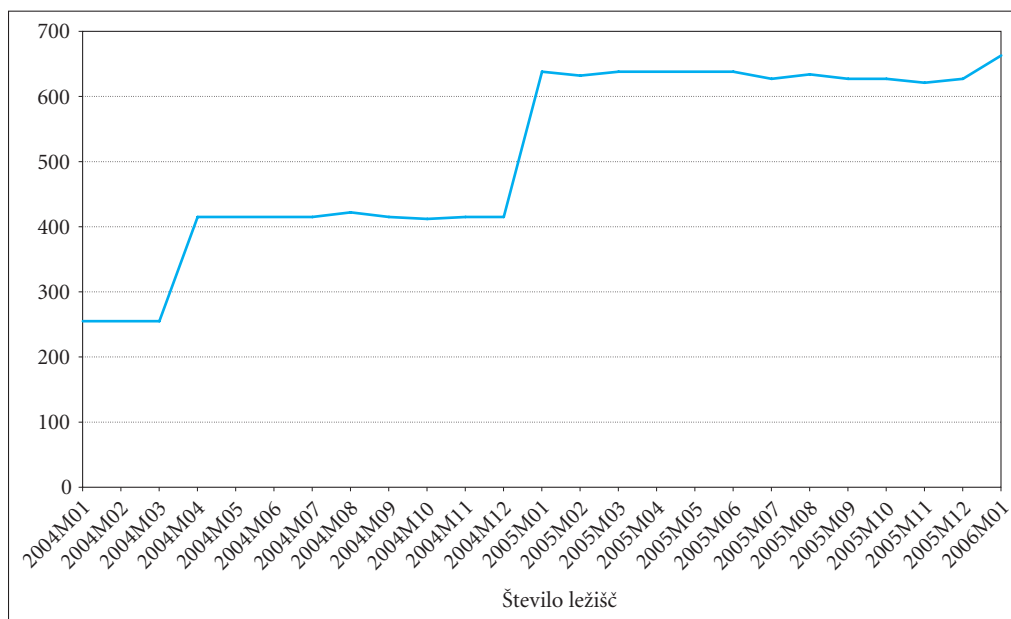
Čeprav imamo za primer gradnje apartmajskega naselja razmeroma veliko podatkov, je uporaba geografskih informacijskih sistemov omejena. Ključni razlog za to je ta, da je bilo treba podatke pridobiti na terenu, saj informacijski sistem ISARR nima nikakršnih podatkov o izvedenem projektu. V primeru, ko obravnavamo eno samo investicijo, je to še možno, če pa obravnavamo večji sklop projektov, postane zbiranje podatkov časovno in finančno zahtevno. Drugi vzrok je, da je investicija točkovna. Zato je prostorski prikaz zelo omejen. Sicer lahko delamo preračune na ravni občine, vendar ni nujno, da bo investicija prišla do odraza oziroma lahko pride do spremembe kazalnikov zaradi več različnih vplivov. Kot primer lahko navedemo gibanje števila delovnih mest. Po zaslugi izvedenega projekta je nastalo 25 novih delovnih mest, če pa gledamo stanje na ravni občine za obdobje september 2004 do januar 2005 (apartmajske naselje je začelo obratovati novembra 2004), je število delovnih mest nihalo med 4.458 in 4.604 – torej za 146 delovnih mest.

*Preglednica 2: Gibanje števila delovnih mest v občini Lendava med septembrom 2004 in januarjem 2005 (vir: SURS 2006).*

mesec	sept. 2004	okt. 2004	nov. 2004	dec. 2004	jan. 2005
število delovnih mest	4459	4564	4604	4559	4578

Na podlagi podatkov lahko sklepamo, da rezultati projekta na področju delovnih mest sicer sooblikujejo smer gibanja kazalnika na ravni občine, a so prešibki, da bi vrednost koreniteje spremenili.

Na podobne težave naletimo, če analiziramo gornji graf. V občini sta se odvijali dve večji investiciji, s katerimi so bila pridobljena nova ležišča. Obravnavani primer zadeva drugo večje povišanje števila ležišč, medtem ko za prvo povišanje števila brez nadaljnega poizvedovanja ne najdemo razloga. Ker



*Slika 2: Rast števila ležišč v občini Lendava v obdobju 1. 1. 2004–1. 1. 2006 (vir: SURS 2006).*

je prišlo do povišanja v različnih obdobjih, razmeroma enostavno razberemo povišanje števila ležišč, ki ga lahko pripišemo obravnavanemu projektu. Če pa bi bili investiciji istočasno končani, bi na obravnavani projekt odpadel le del sprememb. S tem bi se vrednotenje močno zapletlo. Podoben problem bi nastal tudi, če bi bili podatki zbrani v daljšem časovnem razkoraku, saj lahko enkratni podatek zabriše dinamiko na področju posameznega kazalnika.

Drugo dejstvo, ki močno ovira vrednotenje tovrstnih projektov in posledično tudi uporabo GIS tehnologij, je tudi že prej omenjeni zamik pri objavi podatkov. Podatki so bili objavljeni razmeroma pozno, pa še tu le ti o številu ležišč. Za celovito vrednotenje nam manjkajo še podatki o številu gostov in številu nočitev, saj le tako lahko zaobjamemo celoten spekter vplivov. Nesmiselno je namreč graditi nova ležišča, če se le to kasneje ne odrazi v povečanju števila gostov in nočitev.

### 3.2 Wellness center – Terme 3000 (Moravske Toplice)

Namen projekta je bil posodobitev prostorov, v katerih se je prej izvajala terapevtska dejavnost, in dopolniti ponudbo z novimi storitvami. Obnovili so poslopje s 3.200 m<sup>2</sup> uporabnimi površinami, tako je postal Thermalium, največji wellness terapevtski center v tem delu Evrope (Nacionalno turistično združenje 2006).

Naložba naj bi s popestritvijo ponudbe pripomogla k dvigu zanimanja za obisk kraja in k večji zasedenosti hotelskih in apartmajskih nastanitvenih zmogljivosti, kar naj bi imelo ugoden vpliv na celotno regionalno gospodarstvo.

V wellness centru je delo dobilo šest novih specialistov, nezanemarljivo pa je tudi število posrednih delovnih mest v času obnove (po oceni najmanj 25 FTE).

Zaenkrat še ni mogoče oceniti vpliva izboljšane ponudbe na rast števila gostov, saj podatkov za obdobje po odprtju centra (september 2004) še ni.

Tudi sicer je v primerjavi s predhodnim primerom na voljo precej manj podatkov, zaradi česar se možnost uporabe geografskih informacijskih sistemov močno zoži, soočamo pa se tudi s podobnimi težavami (razmeroma majhen projekt, točkovno umeščen ...) kot pri gornjem primeru. Možnost uporabe geografskih informacijskih sistemov zmanjša tudi dejstvo, da pri projektu ni večjih posegov v prostor.

### 3.3 Izgradnja štirisedežnice Podkoren s sistemom umetnega zasneževanja v zgornjem sektorju

Po pridobitvi potrebnih dovoljenj za izgradnjo štirisedežnice v letu 2003 so v družbi RTC Žičnice Kranjska Gora v letu 2004 začeli z gradbenimi deli, ki so jih končali v decembru istega leta.

Postavitev štirisedežnice je zahtevala večje posege v okolje predvsem v zgornjem delu, kjer je bilo treba zgraditi obvoznico. Premaknjenih je bilo 35.000 m<sup>3</sup> gradiva, s katerim so zasuli jarek, po katerem je potekala nekdanja žičnica, s tem pa so pridobili nekaj dodatnih smučarskih površin (RTC Žičnice 2006; PPK 2006).

1.265 m dolga štirisedežnica, z višinsko razliko 442 m stoji na 12 podpornih stebrih. V eni uri lahko prepelje okoli 1.500 smučarjev. Posodobilo se je tudi zasneževanje. Prenovili so črpalke in povečali njuno zmogljivost za 40 l/s. Kupili so osem snežnih topov, ki lahko skupaj v eni uri proizvedejo 500 m<sup>3</sup> umetnega snega. Napeljati so morali tudi dodatne električne vode visoke (2 km) in nizke (4 km) napeposti ter izgraditi dve trafopostaji. Za potrebe snežnih topov so napeljali 2 km vodovoda.

Novo naprave omogočajo večjo varnost smučarjev, obenem pa so omogočile podaljšanje tekmovalne proge.

Sklepamo, da so učinki projekta tudi širši, saj pripomore k privabljanju turistov, to pa se odrazi v povpraševanju po gostinskih in hotelskih storitvah. Nezanemarljiv je tudi ugled, ki ga kraju prinese tekma za svetovni pokal. Dodatne učinke je imel projekt tudi s posrednimi delovnimi mesti.

V tem primeru razpolagamo z razmeroma veliko informacijami, a so te nezadostne, če bi hoteli geografske informacijske sisteme uporabiti na primeru projekta (na primer načrtati, kje potekajo posa-

mezni vodi, kje je bilo odloženo gradivo, spremembe v reliefu ...). Slednje je tudi nesmiselno, saj je treba tudi aktivnosti na področju vrednotenja izvajati preudarno. Na drugi strani je investicija zelo specifična in ni smiselno izvajati primerjave na občinski ravni ali širše.

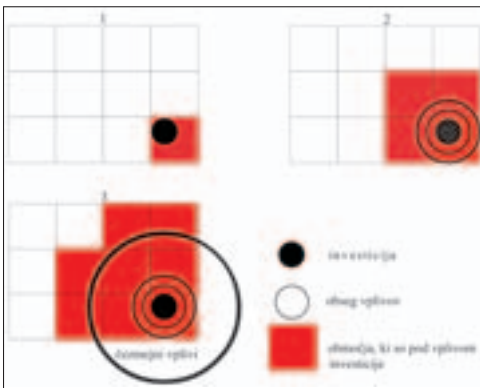
#### 4 Težave pri vrednotenju investicij s področja regionalne politike s pomočjo geografskih informacijskih sistemov

Kot kažejo zgornji primeri, so možnosti uporabe geografskih informacijskih sistemov pri posameznem projektu oziroma investiciji omejene. Razloge za to lahko iščemo v razmeroma majhnih projektih in njihovi prostorski omejenosti, prepletanju učinkov izvedene intervencije z učinki ostalih dogodkov v regiji, nenazadnje pa je pomemben vzrok težavam tudi pomanjkanje ustreznih podatkov. Javne institucije zbirajo samo podatke, ki se nanašajo na celotno območje oziroma celotno populacijo. Zato lahko te uporabljamo le za prikaz okvirnih razmer ter za ugotovitev temeljnih smernic razvoja. Slednje je pri vrednotenju posameznega projekta premalo, saj so razmere na širšem območju rezultat več različnih aktivnosti, zato tudi kazalniki odražajo delovanje vseh aktivnosti in ne le ene od njih. Naslednja težava nastane zaradi zamude pri objavi podatkov. Teh velikokrat nimamo na razpolago, ali pa so ti objavljeni s časovno zamudo. Zato ob vrednotenju, ki ga opravimo ob sklepu projekta, v številnih primerih še ne razpolagamo z zadnjimi podatki. Na primeru manjših prostorskih enot je problem tudi zaupnost podatkov.

Težave nastopijo tudi pri ugotavljanju preliivanja učinkov projekta na širše območje. Velikokrat je namreč mogoče zaznati učinke izvedene investicije le v enem delu prostorske enote, ki jo za zbiranje podatkov uporablja statistika, večkrat pa učinki investicije presega mejo območja spremljanja in je del učinkov moč zaznati na sosednjem območju.

To lahko slikovito ponazorimo z gornjo sliko. V prvem primeru je prostorski vpliv zelo omejen in ne presega matičnega območja, to je območja, znotraj katerega se projekt izvaja in za katerega se tudi zbirajo podatki (na primer območje ene občine). V drugem primeru vplivi investicije segajo še na tri sosednja območja. Zato ni dovolj, da poznamo le smernice razvoja relevantnih kazalnikov na matičnem območju, temveč se mora naše zanimanje razširiti tudi na sosednja območja, ki so jih zajeli vplivi investicije. S tem se vrednotenje močno zaplete, saj je nenehen problem vprašanje, kolikšen del vplivov se odraža v matičnem območju in kolikšen v sosednjih območjih. Slednje je problematično tudi pri uporabi geografskih informacijskih sistemov, saj ne moremo pričakovati primerljivih rezultatov v vseh območjih, ki se jih izvedena investicija dotika.

Z vidika primerljivosti podatkov je še posebej težavno ugotavljanje učinkov pri projektih, ki imajo čezmejni vpliv. Tu se namreč razlikujejo razpoložljive baze podatkov, kot tudi njihova opredelitev, zaradi česar se primerljivost podatkov močno okrni.



Slika 3: Območja vplivov izvedene investicije.

Uporaba geografskih informacijskih sistemov je odvisna tudi od samega tipa projekta. Če gre za točkovno umeščeno investicijo z manjšimi prostorskimi učinki, je njihova uporaba skorajda brez pomena. Drugače je, če primerjamo več različnih projektov ali pa, če so v okviru enega projekta udeleženi različni deležniki. Zato je raba geografskih informacijskih sistemov primernejša, če primerjamo vse investicije z nekega področja (na primer razvoja turističnih destinacij), ali pa območja, kjer se izvaja več medsebojno povezanih projektov.

Ključni problem rabe geografskih informacijskih sistemov je torej izgradnja kakovostne baze podatkov. Če pri tem uporabljamo javne baze, lahko le-te uporabimo le pri ugotavljanju splošnega konteksta razvoja ali pa za pomoč pri vrednotenju celotnih programov na nekem območju.

Za podrobnejše vrednotenje programov in projektov pa je treba vzpostaviti bazo, ki bo vsebovala vse potrebne, vmenso zbrane podatke. V tem primeru bi lahko kot potrebna baza služil sistem ISARR, ki vsebuje najpomembnejše podatke o posameznih projektih s področja regionalnega razvoja, vendar bi ga bilo treba zaradi številnih pomanjkljivosti dopolniti in mu zagotoviti nenehno nadgrajevanje podatkov o posameznem projektu. Če se to zagotovi, bi lahko sistem ISARR zagotavljal vse potrebne informacije o posameznih projektih, kar vključuje podatke o prejemnikih sredstev, o načrtovanih aktivnostih in ciljih, o finančnih postavkah ter podatke o izvajanju in končnemu doseganju ciljev. Ker se projekti izvajajo na točno določeni lokaciji, odpira ustrezen informacijski sistem številne možnosti prostorskih analiz, ki pa bi bile lažje, če bi sistem poleg lokacije na ravni naselja, občine ali regije vseboval tudi natančne koordinate izvedenega projekta. Uporabnost informacijskega sistema bi povečala tudi večja konsistentnost in natančnost pri izpolnjevanju obrazcev o posameznih projektih. Ti so zaenkrat še precej pomanjkljivi, saj jih izpolnjujejo različni ljudje, pa še to predvsem pred začetkom izvajanja, poročil o sami izvedbi pa je le malo.

V prihodnosti si torej lahko nadejamo, da bo vzpostavljena baza, ki bo omogočala hitro in razmeroma poceni vrednotenje regionalne politike. Ta bi omogočala uporabo geografskih informacijskih sistemov, pa tudi druge analize, ki bi služile za podporo pri odločanju.

## 5 Sklep

Na področju regionalne politike so geografski informacijski sistemi orodje, s pomočjo katerega si poenostavimo oblikovanje problemskih območij, zaznavanje njihovih problemov in podajanje osnovnih informacij o razvitosti posameznega območja ali celotne države. Zato se jih da učinkovito uporabiti pri pripravi razvojnih programov, nudijo pa lahko tudi čvrsto podlago za nadaljnje vrednotenje. Pri slednjem je uporaba geografskih informacijskih sistemov smiselna takrat, ko ugotavljamo učinke več različnih projektov, njihov prispevek k spremembam obstoječih struktur in takrat, ko imamo dovolj kakovostnih podatkov. Za zbiranje teh mora biti zadolžena določena institucija, ki bi skrbelo, da so podatki popolni in ažurirani. Bolj vprašljiva je raba geografskih informacijskih sistemov pri obravnavi in vrednotenju enega samega projekta. Če ta predstavlja poseg v prostor, so delne obdelave še mogoče, a bi to v veliki večini primerov pomenilo zahajanje v prevelike podrobnosti, česar si pri vrednotenju regionalne politike ne moremo privoščiti zaradi omejenega časa in finančnih virov.

Zato so geografski informacijski sistemi primernejši za splošno in celovito vrednotenje celotnih programov, ki omogoča številne inovativne pristope, a se je treba pri tem zavedati, da je njihova uporaba tehnično zapletena in draga, če ustrezen sistem ni vzpostavljen.

## 6 Viri in literatura

Enotni programski dokument 2004–2006. 2003. Vlada Republike Slovenije, Ljubljana.  
Evaluation Design and Management. Evaluating Socio-economic Programmes: Volume 1, 1999, European Commission, Luxembourg.

Indicators for Monitoring and Evaluation: An Indicative Methodology. The New Programming Period 2000–2006: Methodological Working Papers. Working Paper 3. 2000. European Commission, Directorate-General XVI, Regional Policy and Cohesion, Co-ordination and evaluation of operations, Brussels.

Letno poročilo 2004 o izvajanju Enotnega programskega dokumenta Republike Slovenije za obdobje 2004–2006. 2005. Republika Slovenija, Ljubljana.

Nacionalno turistično združenje. Medmrežje: <http://www.ntz-nta.si/default.asp?id=4740> (14. 2. 2006).

RTC Žičnice Kranjska Gora. Medmrežje: <http://www.kr-gora.si> (11. 1. 2006).

PPK. Medmrežje: <http://www.ppk.si> (14. 2. 2006).

Ridder, M. 2000: Monitoring and Evaluation In Germany. Implementing Structural Funds: Proceedings from the International conference Bled, Slovenia, June 15 – 16, 2000. Rotterdam.

Statistični letopis Republike Slovenije 2005. 2005. Statistični urad Republike Slovenije, Ljubljana.

Statistični urad Republike Slovenije. 1991–2006. Medmrežje: <http://www.stat.si> (različni datumi).

### **Intervjuji:**

Roman Slivnik, Rekreatijsko turistični center Žičnice Kranjska Gora, 24. 1. 2006.

Ivanka Ajlec, Terme 3000 Moravske Toplice, 6. 2. 2006.

Aleksander Varga, Terme Lendava d. d., 6. 2. 2006.

## ANALIZA GOSPODARSKEGA ZALEDJJA V ARHEOLOGIJI KRAJIN

mag. Benjamin Štular

Inštitut za arheologijo ZRC SAZU

Novi trg 2, 1000 Ljubljana

bstular@zrc-sazu.si

UDK: 902:659.2:004

### IZVLEČEK

#### **Analiza gospodarskega zaledja v arheologiji krajin**

Arheologija krajin obravnava prostor ne le kot ekonomsko ozadje človekovega delovanja v prostoru, temveč kot entiteto, kakršno ljudje zaznavajo in doživljajo. Kljub temu ostaja analiza gospodarskega zaledja kot študij območja, znotraj katerega je izkoriščanje naravnih virov ekonomsko upravičeno, pomembno orodje. V prispevku smo primerjali nekatere algoritme za izračunavanje prostora gospodarskega zaledja in jih primerjali z meritvami na terenu. Odstopanja so od 20 do 200 odstotkov. Za izračunavanje razdalj na malo razgibanih terenih (nakloni do 17 stopinj) predlagamo preprosto izračunavanje dejanske razdalje. Na gorskih terenih (nakloni do 35 stopinj) je potrebno dejanske razdalje za naklone od 17 do 35 stopinj uteževati (2 do 10 krat), upoštevati razlike med vzponom in spustom ter postaviti pregrade. Problem hoje prečno na strmino ostaja nerešen. V praktičnem primeru uporabe analize gospodarskega zaledja za zgodnji srednji vek smo pokazali razliko med idealnim stanjem, ki odraža idealizirane predstave, in stanjem, ko izkoriščanje polja ni več smiselno. Ta meja, 6 do 7 minut, je znatno manjša od teoretičnih modelov.

### KLJUČNE BESEDE

Algoritmni stroškovnih razdalj, geografski informacijski sistem, gospodarsko zaledje, gospodarsko zajetje, arheologija, zgodnji srednji vek, Bled

### ABSTRACT

#### **Site catchment analysis in landscape archaeology**

Landscape archaeology perceives landscape not as mere economical background for human actions. Instead, the archaeological landscape is studied as an entity, as perceived and lived by past populations. Never the less, the site catchment analysis remains an important tool for studying the aforementioned economical background. Some of the more common algorithms used in estimating travel time were compared with the data gained from experiments. At this we noted deviations between 20 and 100 percent. Therefore we suggest that calculating the actual distance is based on the calculation for flat terrains (slopes less than 17 degrees). This is best achieved using the isotropic algorithm based on the formula:  $a^2 + b^2 = c^2$  (incorporated with ESRI ArcGIS software as the Path Distance module). On mountains terrains (slopes 17 to 35 degrees) some sort of weighting (2 to 10) should be used and the differences in inclines and declines as well as barriers should be taken into account. The problem of snake walking remains unsolved. The case study deals with the site catchment analysis of Early Medieval sites in the Bled region (Slovenia). It was possible to point out the difference between the ideal and economical, i.e. perceived and actual site catchment. The fields in an ideal landscape are situated only a 4 or 5 minutes walk from the village. Anything above a 6 or 7 minute walk was rendered economically unacceptable; a new village was founded.

### KEYWORDS

geographical information system, site catchment analysis, archaeology, early middle ages, Bled

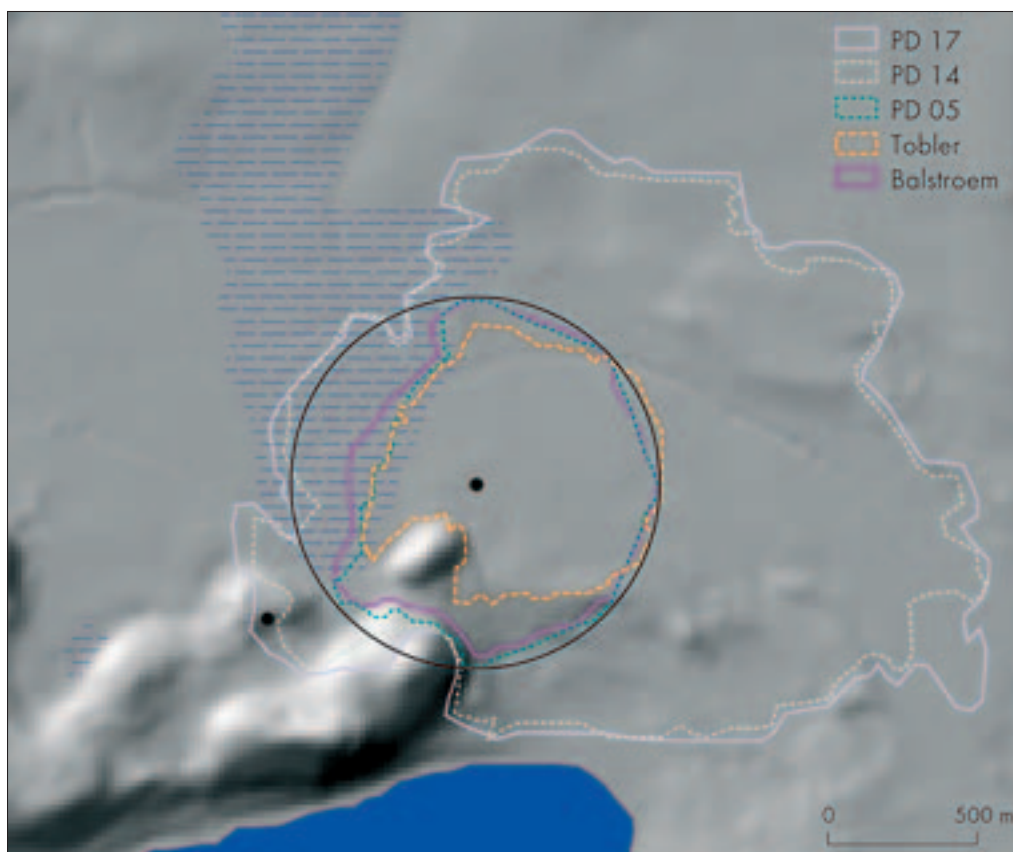


## 1 Uvod

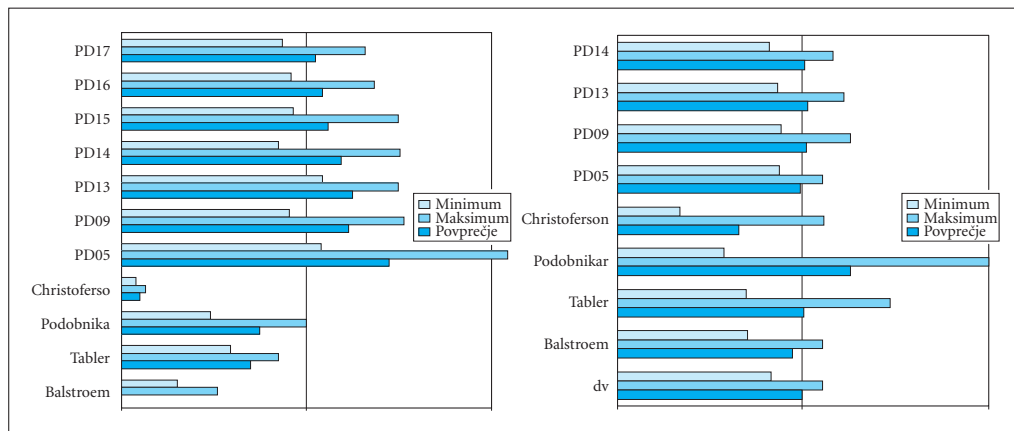
Razumevanje preteklosti skozi prizmo preteklih pokrajin je pogosta tema historičnih ved. V arheologiji trenutno najbolj izpostavljeni pogledi temeljijo bodisi v procesni, bodisi v poprocesni arheologiji; prvi na bogati zgodovini raziskav predvsem t. i. mediteranske arheologije in ameriške Nove arheologije, drugi na britansko-skandinavskem fenomenološkem pristopu. Pri tem se moramo zavedati, da obstaja malone toliko pogledov na pretekle pokrajine, kot je raziskovalcev (Launaro 2004; prim. Novaković 2003, 191–202; Olsen 2002, 63–64).

Eno od stičišč obeh pogledov lahko predstavljajo ravno analize ekonomskega zaledja (ang. *site catchment analysis*; za termin glej Dular, Tecco Hvala 2007; prim. Stančič, Gaffney 1991, 51; Novaković 2003, 117–118). Model so v 70-ih letih 20. stoletja vzpostavili predstavniki t. i. paleoekonomske šole iz Cambridgea. Gospodarsko zaledje je definirano kot območje, znotraj katerega je izkoriščanje naravnih virov ekonomsko upravičeno (Vita-Finzi, Higgs 1970). Še v istem desetletju so ameriški arheologi z empiričnimi preizkusi prvotno območje zaledja, 5 kilometrov oziroma uro hoda za poljedelske skupnosti, prepolovili (Novaković 2003, 117–118; glej tam navedeno literaturo).

Merjenje gospodarskega zaledja s hojo v presekih je bilo časovno zahtevno. Na koncu 80-ih let preteklega stoletja so to metodologijo nadomestile GIS analize (npr. Stančič, Gaffney 1991, 51–60). Analize



Slika 1: Vas Grad z označenimi 5 minutnimi dosegi različnih algoritmov. Vir: DMV 12,5, november 2005; Register prostorskih enot, avgust 2005, © Geodetska uprava Republike Slovenije.



Slika 2: Primerjava GIS rezultatov posameznih algoritmov iz izmerjenimi časi v ravninah (levo) in na gorskem terenu (desno).

gospodarskega zaledja so se torej razvile kot »procesno orodje«. V nadaljevanju pa bomo pokazali, da omogočajo tudi opazovanje nekaterih vidikov pokrajine, ki so sicer tematika fenomenoloških pristopov.

Kljub drugačnim trditvam (Stančič, Gaffney 1991, 60; Christopherson in dr. 1999, 1) so GIS izračuni gospodarskega zaledja običajno manj natančni, kot bi si želeli. To je razvidno tako iz primerjav rezultatov različnih algoritmov (slika 1), kot tudi iz primerjav le-teh z izmerjenimi časi (slika 2). Tako so dobro utemeljene evklidske razdalje (npr. Whitley 2003) včasih uporabnejše kot nekritična uporaba slabega algoritma (npr. Van Hove 2003, 205–206).

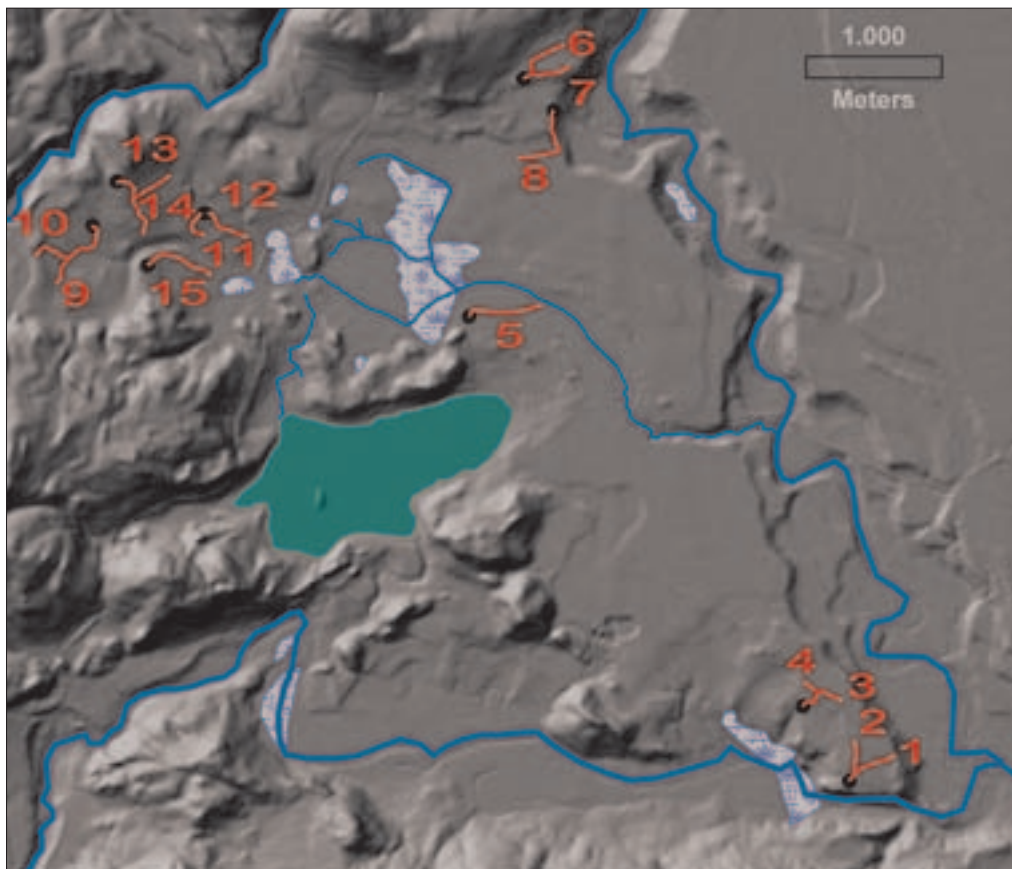
Nekateri problemi izvirajo iz GIS aplikacij prvotne definicije analize gospodarskega zaledja. GIS programski moduli namreč računajo različno optimalno pot do vsake rasterske celice. V vsakdanjem življenju pa ljudje uporabljamo vnaprej določene poti. Za realistično oceno gospodarskega zaledja moramo torej poznati tudi mrežo poti. Le redko, na primer kadar poti vodijo zvezdasto iz središča, je gospodarsko zaledje, določeno z GIS programskim modulom, približek dejanskega stanja. Meritve prehojenih poti so pokazale do ena in pol krat daljše čase.

V prvem delu prispevka bomo na podlagi obstoječih študij in meritev na terenu ocenili uporabnost algoritmov, ki jih uporabljamo z obstoječimi GIS moduli za izračunavanje stroškovnih razdalj (ang. *Cost Distance*). V drugem delu prispevka bomo najuspešnejši algoritem uporabili na praktičnem primeru, študiji gospodarskega zaledja zgodnjerednjeveških naselbin v blejskem kotu.

## 2 Algoritmi za izračunavanje stroškovnih razdalj

Algoritme za izračunavanje stroškovnih razdalj (ang. *cost surface*), ki jih uporabljamo z obstoječimi GIS programskimi moduli, delimo na simetrične (ang. *isotropic*) in nesimetrične (ang. *anisotropic*). Prvi ne upoštevajo razlike med vzponom in spustom. Namen našega prispevka je bil oceniti uporabnost obstoječih algoritmov s programsko opremo (ESRI ArcGIS 9.1; na tem mestu se zahvaljujem za tehnične nasvete Tomažu Podobnikarju in Petru Pehaniju, za stilistične popravke pa Tini Milavec in Boštjanu Odarju - Odiju).

Kot osnovni sloj smo uporabili digitalni model višin (dalje DMV) z ločljivostjo 12,5 m; vir: DMV 12,5, november 2005; Register prostorskih enot, avgust 2005, © Geodetska uprava Republike Slovenije (primerjaj Podobnikar 2002; isti 2003). Ocenjena natančnost modela je 3,2 m (ravnine 1,1 m, gričevja 2,3 m, hribovja 3,8 m, gorovja 7,0 m).



Slika 3: Blejski kot z označenimi obravnavanimi vasi in potmi, kjer so bile opravljene meritve. Številke ustrezajo preglednici (vir: DMV 12,5, november 2005; Register prostorskih enot, avgust 2005, © Geodetska uprava Republike Slovenije).

Kljub izjemni kvaliteti predstavlja uporabljeni DMV komajda sprejemljivo natančnost za zastavljeno nalogo. Posamezna študijska območja namreč merijo približno kvadratni kilometer. Že primerjava dvodimenzionalnih vektorskih in rasterskih razdalj pri tej ločljivosti namreč pokaže odstopanja do 10 odstotkov. Pomagamo si lahko z zmanjševanjem velikosti celic karte trenja. Nekoliko presenetljivo se povprečna absolutna napaka celo poveča. Vendar postane napaka bolj predvidljiva (preglednica 1) in jo tako lažje vključimo v algoritem.

Naslednji problem, ki se pokaže pri uporabi tako natančnega DMV, so moderni posegi v relief. Tak primer je na primer železniški nasip, ki deli blejsko ravnino. Ker nas zanima preteklost, tovrstne posege v prostor iz končne karte trenja odstranimo.

Za potrebe prispevka smo podatke pridobivali tudi z meritvami na terenu. Merili smo čas, ki ga potrebuje peška ali pešec za določeno pešpot. Prvi del meritev smo opravili v mesecu avgustu na planini Krvavec. Meritve so bile opravljene hkrati s siceršnjim terenskim delom. Merili smo čas poti na delo in z dela. Udeleženci so bili lahko otovorjeni do srednje otovorjeni z bremenom v rokah in na hrbtu. Rezultati so pokazali, da so razlike v starosti, spolu, utrujenosti in motivaciji (pot na delo in vrnitev z dela) na tako kratkih razdaljah zanemarljive.

Drugi del eksperimentalnega merjenja smo opravili v Blejskem kotu (slika 3). Ker je šlo za enodnevno akcijo, smo opazovali le povprečen čas. Gre za pretežno ravninske poti, le v nekaterih primerih lahko govorimo o zmernem naklonu (5 do 9 stopinj). Posamezne poti so razmeroma kratke, izmerjena vektorska razdalja ne presega 700 metrov (preglednica 1, poti 1 do 15).

Preglednica 1: Podatki o poteh, na katerih so potekale meritve.

naklon v stopinjah			Razdalja (m); v-vektorska, r-rasterska				hodci (M) in hodke (Ž)				
Pot	povpr.	največji	dv	dr (100)	dr (12,5)	dr (1)	M 1	Ž 1	M 2	Ž 2	povpr.
1a	1,2	3,0	415	666	428	431	5,5	5,8	/	/	5,6
1b	1,2	3,0	415	666	428	431	5,5	6,0	/	/	5,8
2a	1,8	3,0	320	300	326	332	4,5	4,5	/	/	4,5
2b	1,8	3,0	320	300	326	332	4,5	5,0	/	/	4,8
3a	3,4	6,5	381	300	380	395	5,6	5,5	/	/	5,6
3b	3,4	6,5	381	300	380	395	5,3	5,5	/	/	5,4
4a	3,9	6,6	312	200	294	325	4,3	4,3	/	/	4,3
4b	3,9	6,6	312	200	294	325	4,3	4,5	/	/	4,4
5a	0,5	1,2	571	541	599	597	/	/	/	/	/
5b	0,5	1,2	571	541	599	597	/	/	/	/	/
6a	3,1	6,9	439	641	455	455	6,0	6,0	/	/	6,0
6b	3,1	6,9	439	641	455	455	6,3	6,5	/	/	6,4
7a	3,8	7,1	365	300	386	382	/	/	/	/	/
7b	3,8	7,1	365	300	386	382	/	/	/	/	/
8a	4,4	16,3	626	541	652	657	8,0	8,0	/	/	8,0
8b	4,4	16,3	626	541	652	657	8,0	8,0	/	/	8,0
9a	5,9	9,9	690	600	701	707	/	/	9,5	8,7	9,1
9b	5,9	9,9	690	600	701	707	/	/	8,0	8,5	8,3
10a	6,8	16,1	610	683	616	628	/	/	7,5	7,2	7,3
10b	6,8	16,1	610	683	616	628	/	/	7,5	7,3	7,4
11a	5,5	8,6	256	200	272	279	/	/	3,8	3,6	3,7
11b	5,5	8,6	256	200	272	279	/	/	3,8	3,8	3,8
12a	4,4	7,3	369	483	392	395	/	/	4,8	4,8	4,8
12b	4,4	7,3	369	483	392	395	/	/	5,0	5,0	5,0
13a	8,4	13,7	564	441	531	589	/	/	6,3	6,3	6,3
13b	8,4	13,7	564	441	531	589	/	/	6,8	7,2	7,0
14a	8,5	13,8	540	283	540	559	/	/	6,5	6,5	6,5
14b	8,5	13,8	540	283	540	559	/	/	6,5	7,0	6,8
15a	5,2	10,9	538	624	556	567	/	/	/	/	/
15b	5,2	10,9	538	624	556	567	/	/	7,0	8,5	7,8
16a	21,9	30,2	735	/	/	/	/	/	/	/	16,5
16b	21,9	30,2	735	/	/	/	/	/	/	/	12
17a	24,7	32,9	436	/	/	/	/	/	/	/	7,5
17b	24,7	32,9	436	/	/	/	/	/	/	/	8
18	20,3	31,9	577	/	/	/	/	/	/	/	8

Za večino poti domnevamo, da potekajo na zgodnesrednjeveških poteh ali tik ob njih. Domneva temelji na arheološko dokumentiranih primerih in retrogradni analizi Franciscejskega katastra (Pleterški 1989). Nekatere poti smo delno prilagodili modernim cestam in potem. Odstopanja so minimalna,

do nekaj metrov. Tako smo hkrati dobili podatke za primerjalno analizo različnih algoritmov in podatke, ki omogočajo neposredne arheološke interpretacije.

Z meritvami pridobljene podatke smo primerjali z rezultati izračunov štirih algoritmov, ki jih imenujemo po avtorjih: Balstroem, Tobler, Podobnikar, Christoperson.

Algoritem Balstroem (1992) temelji na pretvarjanju naklonov v čas. Vrednosti so bile pridobljene z meritvami na terenu. Rezultati, glede na naklon v odstotkih, so podani kot čas v sekundah na razdalji 5 metrov: do 12: 4, 12–19: 5, 19–25: 6, 25–29: 7, 29–30: 8. Naklon nad 30 je obravnavan kot pregrada. Rezultat algoritma je čas v sekundah, potreben za določeno razdaljo.

Algoritem Christoperson (1999) je nekoliko drugačen, saj je bil razvit za uporabo z določenim programskim modulom (Path Distance; glej Medmrežje), ki izračunava dejansko razdaljo. Geomorfologijo terena upošteva tako, da izračunava razdaljo po Pitagorovem izreku. Algoritem je simetričen in predvideva še dodatno uteževanje naklonov (v odstotkih): 0–5: 1, 5–15: 2, 15–30: 4, nad 30: 16. Gre torej za mešanico merjenja dejanske razdalje in energije, potrebne za premagovanje večjih naklonov. Rezultat je podan kot ekvivalent razdalje, prehojene po ravnini, v metrih. Če želimo rezultat primerjati z meritvami na terenu, ga, s predpostavko o hitrosti pešca v ravnini, pretvorimo v čas.

S Toblerjevimi algoritmi (Tobler 1993), imenovanim tudi funkcija popotnika (ang. *Hiker's function*), izračunavamo hitrost v kilometrih na uro glede na naklon v odstotkih po sledeči formuli:  $6 \exp(-3,5 \cdot \text{abs}(\text{naklon v odstotkih} + 0,05))$ . Graf funkcije je simetričen glede na vrednost  $-5$  osi  $x$  (torej nesimetričen glede na vrednost 0), pri čemer je največja hitrost (6) pri negativnem naklonu ( $-5$ ), potem pa se hitrost zmanjšuje. Pri naklonu 0 je hitrost 5. Za uporabo algoritma s programskim modulom smo rezultate pretvorili v čas v sekundah na meter in na podlagi tega izdelali karto trenja.

Nesimetrični algoritem Podobnikar (Podobnikar in dr. 2004) je nastal z virtualnim preizkušanjem različnih algoritmov. Cilj je bil najti najuspešnejši algoritem za iskanje naravnih poti, ki bi povezovale železnodobne naselbine Dolenjske. Uteži na karti trenja so abstraktne enote glede na naklon v stopinjah:  $-60$ : pregrada;  $-55$ : 250;  $-50$ : 100;  $-40$ : 50;  $-30$ : 20;  $-25$ : 0.90;  $-20$ : 0.70;  $-15$ : 0.55;  $-10$ : 0.49;  $-5.7$ : 0.44;  $0$ : 0.82;  $5$ : 1.62;  $10$ : 2.45;  $20$ : 4.00;  $30$ : 20;  $40$ : 50;  $50$ : 100;  $55$ : 250;  $60$ : pregrada. Vrednosti pri spustu so pri manjših naklonih manjše od 1 (torej pospešujejo hojo), toda pri večjih naklonih hitreje naraščajo.

Z opisanimi algoritmi smo izračunali stroškovne razdalje na zgoraj opisanih poteh, na katerih smo izvajali tudi terenske meritve. Na tem mestu smo upoštevali le geomorfologijo, saj gre za utrjene poti. Kot izhodišče smo upoštevali, da na potovanje po utjenih poteh najbolj vpliva morfologija. Poti smo rasterizirali, celice izven poti pa označili kot neprehodne. Tako dobljene rezultate smo lahko neposredno primerjali s terenskimi meritvami.

Algoritem Balstroem smo izpeljali s programskim modulom Cost, ostale pa z modulom Path Distance. S slednjim smo razvijali tudi dodatne algoritme in sicer empirično, s prilagajanjem vertikalnega dejavnika in opazovanjem rezultatov.

Skupaj z zgoraj opisanimi algoritmi so predstavljeni tudi rezultati uspešnejših lastnih algoritmov (slika 2). Ti so poimenovani po modulu (Path Distance, torej PD) in zaporedni številki poizkusa. Kot referenca je predstavljena tudi vektorska razdalja, preračunana v čas za enako hitrost.

Algoritem Balstroem je precej natančen na manj razgibanih poteh, slabše pa se odreže na srednje razgibanih poteh. Največja problema sta preveliko uteževanje hoje navkreber in simetričnost algoritma, na kar je opozoril že avtor (Balstroem 1992, 79).

Algoritem Tobler je pokazal najmanjše povprečno odstopanje od povprečja merjenih časov. To pomeni, da je kljub znatnemu odstopanju v posameznih primerih, povprečje vseh meritev skoraj enako povprečju izmerjenih časov. Za izračunavanje določene poti z uporabljeno metodologijo algoritem torej ni primeren, morda pa bi bil uporaben za določanje gospodarskega zaledja.

Algoritem Podobnikar je najbolj odstopal od izmerjenih časov. To razlagamo z namembnostjo, saj je bil algoritem razvit za iskanje energetsko optimalnih poti.

Nepričakovano nenatančen je tudi algoritem Christiansen. V ravninah so izračunani časi primerljivi z meritvami, a so krepko predolgi na razgibanih poteh. Uteževanje strmin je očitno premočno.

Na podlagi izkušenj z opisanimi algoritmi smo s preizkušanjem izdelali nekaj dodatnih algoritmov.

Najmanjša odstopanja na nerazgibanem terenu dobimo s preprostim izračunavanjem dejanske razdalje (algoritem PD05). Rezultat je skladen s terenskimi opažanji, da manjši klanci ne vplivajo na hitrost hoje. Namesto »kartografske« potji s pomočjo pitagorovega izreka programski modul izračunava dejansko, trodimenzionalno pot.

Ostali algoritmi so rezultat poskusov izdelati nesimetričen algoritem po Toblerjevem zgledu. Zmeren spust naj bi hojo malenkost pospešil. Rezultati vseh predstavljenih algoritmov (PD09, PD13 in PD14) so boljši od kateregakoli preizkušenih algoritmov, vendar so vsi slabši od merjenja dejanske razdalje (PD05).

Kljub navidez majhnim razlikam med posameznimi algoritmi so razlike pri izdelavi posameznih gospodarskih zaledij precejšnje. To je razvidno, ko primerjamo površino gospodarskih zaledij istega naselja, izračunano z različnimi algoritmi (slika 1).

Nekatere algoritme smo preizkusili tudi na gorskih poteh. Rezultati algoritma PD05 na strmem terenu pokažejo, da je naklone nad 17 stopinj potrebno utežiti. To je namreč največji naklon, ki ga je premagovala kaka zgodnesrednjevska pot v Blejskem kotu. Kot izhodišče smo uporabili algoritem PD13 in ga skušali prilagoditi gorskemu terenu.

*Preglednica 2: Vertikalni dejavniki (uteži) predstavljenih algoritmov PD05, PD13, PD14, PD15, PD16, PD17 (vrednost -1 predstavlja pregrado).*

naklon (stopinje)	PD05	PD13	PD14	PD15	PD16	PD17
-90	-1	-1	-1	-1	-1	-1
-60	-1	-1	-1	-1	-1	-1
-55	-1	25	250	25	20	20
-50	-1	10	100	15	10	10
-40	-1	5	50	10	7,5	7,5
-30	-1	4	10	6	5	6
-25	-1	1,5	1,5	3	3	3
-20	-1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,5
-17	1	1		1	1	1
-15	1	1	1	1	1	1
-10	1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
-5	1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
-2	1	1	1	1	1	1
0	1	1,1	1	1,1	1,1	1,1
2	1	1,1	1	1,1	1,1	1,1
5	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1
17	1	1		1	1	1
20	-1	1,5	1	2	2	3
25	-1	2	1	4	5	5
30	-1	3	10	5	7,5	7,5
40	-1	5	50	7,5	10	10
50	-1	10	100	10	15	15
55	-1	25	250	20	20	20
60	-1	-1	-1	-1	-1	-1
90	-1	-1	-1	-1	-1	-1

Odstopanja od meritev so na gorskem terenu večja (slika 2). Na splošno lahko pri boljših algoritmih na malo razgibanem terenu govorimo o odstopanjih do 10 odstotkov, na gorskem pa do 20.

Vzrok je t. i. horizontalni dejavnik (prim. Poglajen 2006), ki je že »kvaril« rezultate poti 8. Gre za hojo prečno na strmino, lahko v obliki žagaste poti (planinske poti) ali serpentin (gorske ceste). To je običajen način, ki ga pri premagovanju strmin uporabljajo tako živali kot človek. S programskim modulom Path Distance ne moremo vplivati na horizontalni dejavnik v odvisnosti od vertikalnega dejavnika, temveč le splošno. Horizontalni dejavnik lahko prilagodimo enakomerno strmemu terenu po sledeči formuli: horizontalni dejavnik 0 – hoja vzporedno s strmino – dobi obratno vrednost uteži, ki je pripisana konkretni strmini. Obstoječi programski modul (Path Distance) pa ne omogoča izdelave splošnega algoritma, ki bi horizontalni dejavnik prilagajal vertikalnemu. Rešitev lahko iščemo v avtomatiziranju postopka, ki bi pot razdelil na odseke glede na strmino, tej prilagodil horizontalni dejavnik in na koncu prikazal seštevek rezultatov.

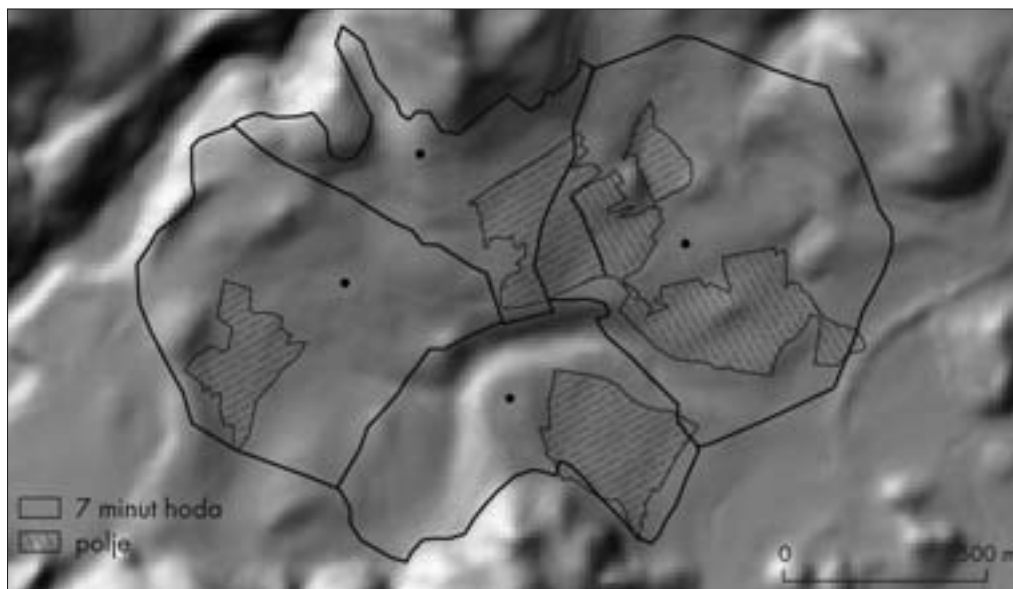
Vertikalni dejavniki (uteži) algoritmov so predstavljeni v preglednici 2.

### 3 Študijski primer za aktivnost polje

V študijskem primeru bomo obravnavali le gospodarski prostor ene izmed aktivnosti, polje. Za naš namen, ki je bil preveriti delovanje algoritma, to popolnoma zadostuje. V nadaljevanju bomo pojem gospodarsko zaledje uporabljali v povezavi z delom na polju.

Predstavili bomo analizo gospodarskega zaledja zgodnjerednjeveških (7. do 10. stoletje) naselij v Blejskem kotu. Rekonstrukcija zgodnjerednjeveške pokrajine je povzeta po multidisciplinarni historični študiji (Pleterski 1986).

Analizirali bomo pot iz središča vasi do izhodišč za delo na polju. Zanima nas čas, ki ga potrebuje lahko otovorjen pešec, ki potuje po utrjeni poti na delo ali z njega. Ker gre za relativno majhne razdalje,



Slika 4: Vasi Zgornje Gorje, Viševnica, Poljšica in Spodnje Gorje (od zahoda) in njihova polja okoli leta 800. Temne črte prikazujejo kombinacijo 7 minutnega dohoda in dodelitve glede na bližino – alokacija (vir: DMV 12,5, november 2005; Register prostorskih enot, avgust 2005, © Geodetska uprava Republike Slovenije).

nas dejavniki, kot sta utrujenost in možnosti oskrbovanja med potjo, ne zanimajo. Kot so pokazali praktični poizkusi, so tudi razlike v spolu, starosti in motivaciji zanemarljive.

Kvaliteta podatkov nam omogoča fenomenološki pristop. Poleg dejanskega stanja v določenem času in prostoru bomo iskali tudi vpogled v mentalni model pokrajine. S tem izrazom opisujemo »globoko ponotranjena prepričanja, podobe in predpostavke o nas samih, o našem svetu ... in o tem, kako se znajdemo v njih« (Hutchens 2002, 61; prim. Štular 2005, 88). Gre za udejanjanje povezave ideje in prostora.

Polje ima v mentalnem modelu pokrajine vsakega poljedelca poseben pomen. Zaznavanje pokrajine je proces, v katerem posameznik pokrajino kulturno interpretira in kategorizira. Tako ima vsakdo svoj amulet, vsaka vas svoje sveto mesto in vsaka lokalna skupnost svojo sveto goro. Šele v tako nastalem kontekstu so osmišljeni obstoječi naravni dejavniki pokrajine (geomorfologija, kvaliteta prsti ...).

Mentalne modele pokrajine zgodnjerednjeveških Blejcev bomo prepoznali v stanju ob nastanku najstarejših vasi. Te so bile postavljene v skladu z mentalnim modelom pokrajine (Pleterski 2004), saj ni bilo naravnih in kulturnih ovir.

Polje najstarejših vasi je dosegljivo v štirih minutah. Najoddaljenejši, šest minut in pol, je del polja nekoliko mlajših Zgornjih Gorij. Izmerjeni časi hoje po dejanskih poteh so za najstarejše vasi do 6 minut, v Zgornjih Gorjah 9 minut.

Težnjo po bližini polja lahko utemeljimo tudi z upoštevanjem časovne dinamike. Spodnje Gorje so nastale pred drugo polovico 8. stoletja. Vasi Zgornje Gorje, Viševnica in Poljšica so nastale s kolonizacijo (tudi iz Spodnjih Gorij v drugi polovici 8. stoletja (Pleterski 1986, 128). Do takrat se je prvotno spodnjegorjansko polje skoraj podvojilo. Hoja do zadnjega polja izbranih vasi je okoli leta 800 trajala od 6 do 7 minut (slika 4).

Zlasti izpovedna je primerjava polj Spodnjih Gorij in Viševnice, ki se prepletata. Polja obeh so okoli leta 800 dosegljiva v 7-ih minutah. To je torej čas, ki so ga bili zgodnjerednjeveški Blejci še pripravljani premagovati pri hoji na polje. Raje, kot da bi si izkrčili polje 10 minut hoda od Spodnjih Gorij, so postavili novo naselbino, Viševnico.

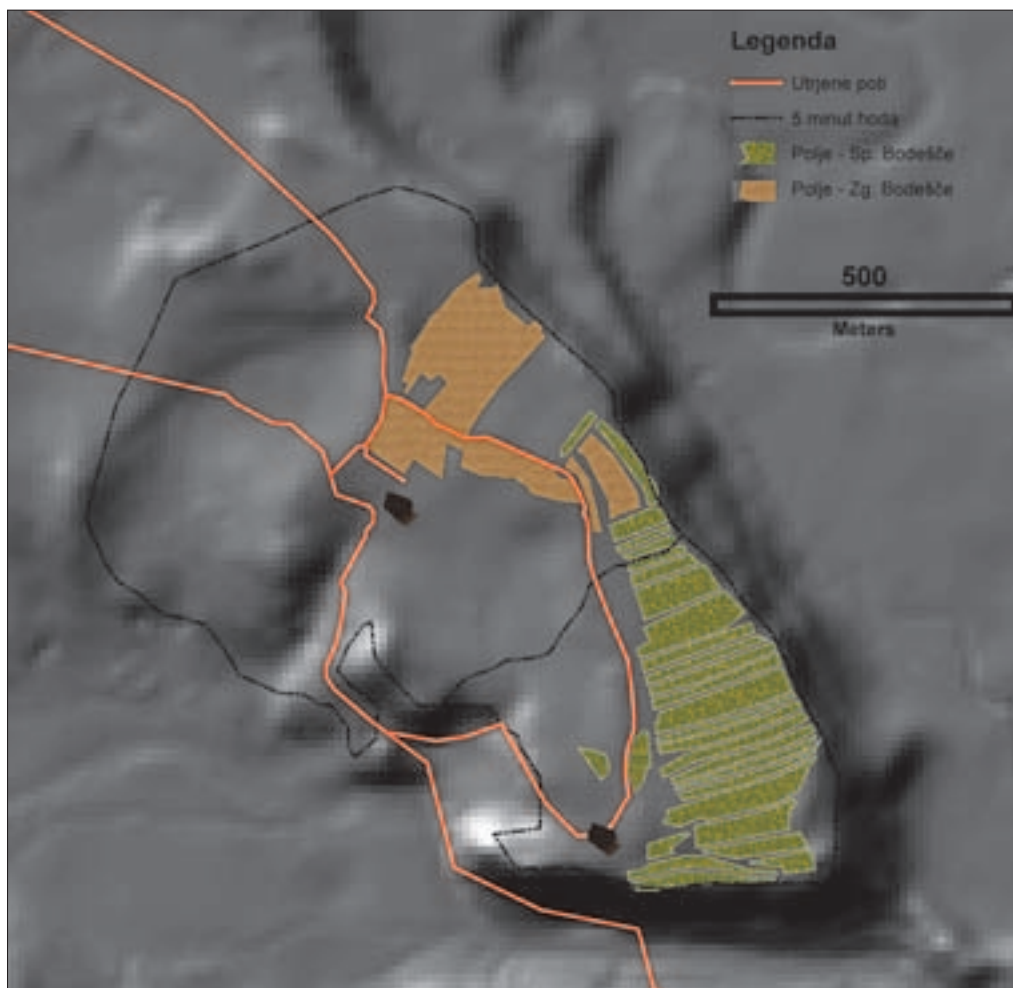
Omenjeno pravilo smo preverili še na primeru vasi Spodnjih Bodešč in Zgornjih Bodešč, tokrat z upoštevanjem dejanskih poti. To pomeni, da smo karti trenja dodali prepoved prečkanja poljskih površin. Na ta način smo dobili mrežo primarnih (utrjene) in sekundarnih (prehodne a neutrene) poti. Slednjim smo dodali utež (1.2). Mrežo poti smo razdelili glede na dostopnost z obeh vasi (slika 5). Uporabili smo programski modul Dejanska razdalja – dodelitev (ang. *Path Distance Allocation*).

Rezultat predstavlja hipotetično mejo med vasema, ki je šest in pol minut hoda po dejanskih poteh. Takšna meja se ujema s historično rekonstrukcijo (Pleterski 1986, 26–35). Izstopa le nekaj spodnjebodeških njiv, ki odločno presegajo mejo dodelitve (slika 5). Polje starejše vasi delno sega v gospodarsko zaledje mlajše vasi. Kot v zgornjem primeru (slika 4), opazimo, da približno četrtina sicer enotnega polja nove vasi pripada starejši vasi. Ena izmed možnih razlag bi bila, da gre za delitev na podlagi skupnega dela, ki so ga skupaj opravili prebivalci stare in nove vasi pri krčenju novega polja. Takšno razlago potrjuje mešano lastništvo travnikov, ki so bili v tem obdobju skupna last ter kasnejša delitev polj (Pleterski 1986). Način delitve skupne zemlje na podlagi vložene delo je bil dokumentiran tudi pri novoveških *zadrugah* gorskih plemen Črne gore in severne Albanije (Novaković 2001, 106).

Na podlagi teh izsledkov lahko sklepamo tudi o vrsti poljedelstva. To je temeljilo na zelo intenzivnem in visoko specializiranem obdelovanju poljskih površin. Isti zaključek potrjujejo arheološke najdbe primernega poljedelskega orodja (Pleterski 1987) in družbena ureditev dela: polja so v zasebni lasti, obdeluje jih ena – lahko razširjena – družina (Pleterski 1986). Razporeditev obdelovalnih površin v drugačnem poljedelstvu, na primer novoveških severnoameriških sušnjestelastniških plantažah riža, kaže popolnoma drugačno sliko (Whitley 2003). Z rezultati analize gospodarskega zaledja torej lahko neposredno sklepamo o vrsti gospodarstva.

Če na kratko povzamemo. Najstarejše vasi so bile postavljene v skladu z idealnimi predstavami o prostoru. V tem obdobju so polja od bivališč oddaljena 3 do 4 minute hoda po idealnih, oziroma 5 do 6 minut po dejanskih poteh. Ko pa je bilo zaradi večjega števila lačnih ust potrebno izkrčiti nova polja, odda-





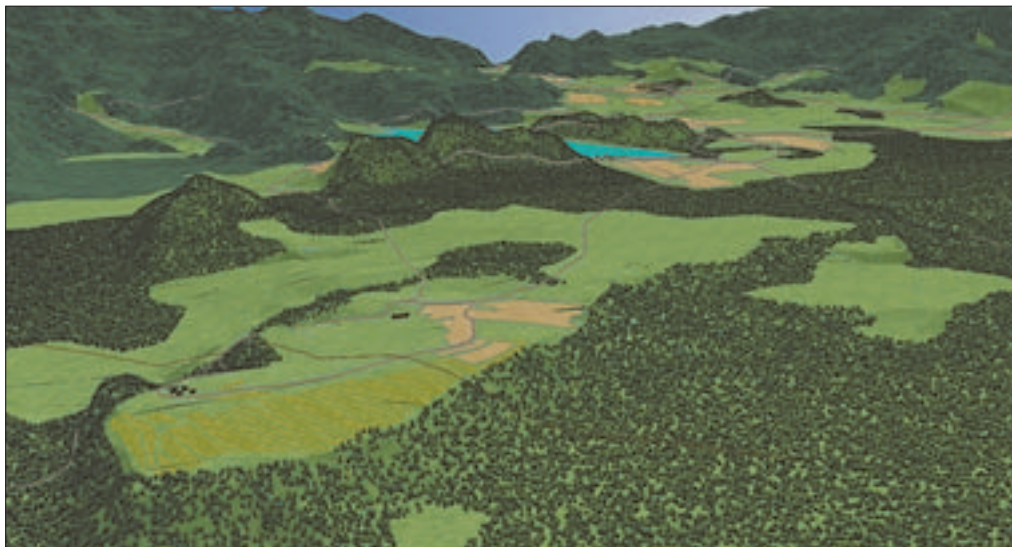
Slika 5: Vasi Zgornje in Spodnje Bodešče, časovna dostopnost in dodelitev zemljišča. Primerjava z dokumentiranim stanjem (vir: DMV 12,5, november 2005; Register prostorskih enot, avgust 2005, © Geodetska uprava Republike Slovenije).

ljena od bivališč več kot 6 do 7 minut hoda po idealnih poteh, so si zgodnj srednjeveški Blejci postavili nova bivališča, bližje polju.

V mentalnem modelu pokrajine zgodnj srednjeveških Blejcev je pot na polje trajala 3 do 4 minute. 6 do 7 minut hoda pa je meja, znotraj katere jim je bilo izkoriščanje polja ekonomsko smiselno.

#### 4 Sklep

V prispevku smo z meritvami na terenu preverili natančnost nekaterih algoritmov za izračunavanje stroškovnih razdalj, ki so v arheološki literaturi večinoma uporabljeni za izračunavanje gospodarskega zaledja. Pri tem smo opazili precejšnja odstopanja. Precej boljše rezultate smo dobili z uporabo dejan-



Slika 6: Rekonstrukcija kulturne krajine zgodnj srednjeveškega blejskega kota. Pogled iz obronkov Jelovice, v ospredju Bodešče (vir: Pleterski 1986; DMV 12,5, november 2005; Register prostorskih enot, avgust 2005, © Geodetska uprava Republike Slovenije).

skih razdalj. Na gorskih terenih je potrebno dejanske razdalje za naklone od 17 do 35 stopinj uteževati, upoštevati razlike med vzponom in spustom ter postaviti pregrade. Problem hoje prečno na strmino ostaja nerešen.

V praktičnem primeru uporabe analize gospodarskega zaledja za zgodnji srednji vek smo pokazali razliko med idealnim stanjem, ki odseva mentalni model pokrajine, in stanjem, ko izkoriščanje polja iz določenega naselja ni več smiselno. Ta meja, 6 do 7 minut, je znatno manjša od teoretičnih modelov.

S »procesno« metodo smo se dotaknili tudi »poprocesnih« vprašanj in iskali pomen v razmerju med človekom in prostorom (prim. Tilley 2004, 4–30). Na zgodnj srednjeveško poselitev Blejskega kota (slika 6) je ključno vplival svetovni nazor (Pleterski 2004), ki ga odseva (prim. Klejn 1987, 41) poselitev. Z analizo gospodarskega zaledja lahko preučujemo proces prilagajanja. Vse številčnejši prebivalci so se prilagajali trenutnim razmeram upoštevaje tako svetovni nazor kot tudi gospodarske potrebe.

## 5 Viri in literatura

- Balstroem, T. 1992: The Use of Geographical Information Systems in the Planning Phase of a Field-work Campaign. *Danish Journal of Geography* 92, 75–79.
- Christopherson, G. L. in dr. 1999: Using ARC GRID's PATHDISTANCE Function to Model Catchment Zones for Archaeological Sites on the Madaba Plain, Jordan. ESRI User Conference Proceedings: <http://gis.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papers/pap590/p590.htm> (1. 4. 2006).
- Dular, J. in Tecco Hvala, S. 2007: Jugovzhodna Slovenija v železni dobi. Poselitev – gospodarstvo – družba. Opera Instituti archaeologici Sloveniae 11.
- Hutchens, D. 2002: Sence neandertalcev. Ljubljana.
- Klejn, L. S. 1987: Arheološki viri. Ljubljana.
- Novaković, P. 2003: Osvajanje prostora. Razvoj prostorske in krajinske arheologije. Ljubljana. Medmrežje: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.1> (1. 4. 2006).

- Launaro, A. 2004: Concerning Landscape. *Agri Centuriati. An International Journal of Landscape Archaeology* 1, 31–41.
- Novaković, P. 2001: Detecting Territoriality and Social Structure in the Bronze and Iron Ages; GIS and the Hillforts in the Kras Region. B. Slapšak (ur.), *On the good use of geographic information systems in archaeological landscape studies: proceedings of the COST G2 WG2 Round Table*, Ljubljana, 18 to 20 December 1998.
- Olsen, B. 2002: *Od predmeta do teksta*. Beograd.
- Pleterski, A. 1986: Župa Bled. Nastanek, razvoj in prežitki. Ljubljana.
- Pleterski, A. 1987: Sebenjski zaklad. *Arheološki vestnik* 38, 237–330.
- Pleterski, A. 1989: Metoda povezave retrogradne analize katastra s pisanimi in arheološkimi viri (primer Blejskega kota). *Zgodovinski časopis* 43, 157–182.
- Pleterski, A. 2004: Idejni sistem blejske župe. Bled tisoč let. *Blejski zbornik* 2004, 119–123.
- Podobnikar, T. 2002: Koncept izdelave novega digitalnega modela reliefa Slovenije. *Geografski vestnik* 74-1, 87–98.
- Podobnikar, T. 2003: Kronologija izdelave digitalnega modela reliefa Slovenije. *Geodetski vestnik* 47, 47–54.
- Podobnikar in dr. 2004: Iterative Approach to Ancient Paths Modelling in the Iron Age Study of the Dolenjska Region (Slovenia). *Enter the Past. The E-way into the Four Dimensions of Cultural Heritage*, CAA 2003, BAR International Series 1227, 254–257.
- Pogljajen, S. 2006: Iskanje rimske cestne mreže v severozahodni Istri. GIS v Sloveniji 2006, v tisku.
- Stancič, Z, Gaffney, V. 1991: Napovedovanje preteklosti – uporaba GIS v arheološki študiji otoka Hvara. Ljubljana.
- Štular, B. 2005: Simbolika tvarne kulture – lonček z Brezij. *Studia Mythologica Slavica* 8, 87–98.
- Tilley, C. 2004: *The Materiality of Stone. Explorations in Landscape Phenomenology* 1. New York: Oxford.
- Tobler, W. 1993: Non-isotropic Geographic Modeling. Three Presentations on Geographic Analysis and Modeling. University of California Technical Report 93–1.
- Van Hove, D. 2003: Agency and GIS: the Neolithic Land Use Hypothesis within Southern Italy. CAA 2002, M. Doerr in A. Sarris (ur.), *The Digital Heritage of Archaeology*, Heraklion, 201–208.
- Vita-Finzi, C., Higgs E. M., 1970: The Prehistoric Economy of the Mt. Carmel Area. *Proceedings of the Prehistoric Society* 36, 1–37.
- Whitley, T. G. 2003: GIS as an Interpretative Tool for Addressing Risk Management and Cognitive Spatial Dynamics in a Slave Society. CAA 2002, M. Doerr in A. Sarris (ur.), *The Digital Heritage of Archaeology*, Heraklion, 209–215.
- Vir prostorskih podatkov: © 1999–2005 Geodetska uprava Republike Slovenije.

## ISKANJE RIMSKE CESTNE MREŽE V SEVEROZAHODNI ISTRI

**mag. Sašo Poglajen**

Harpha Sea d. o. o.

Čevljarjska ulica 8, 6000 Koper

Inštitut za dediščino Sredozemlja, UP-ZRS

Garibaldijeva ulica 1, 6000 Koper

saso.poglajen@guest.arnes.si

UDK: 625.7(37):659.2:004

### IZVLEČEK

#### **Iskanje rimske cestne mreže v severozahodni Istri**

V prispevku bo predstavljena uporaba in rezultati GIS-a pri ugotavljanju rimske mreže poti oziroma cest v severozahodni Istri. Uporabili smo predvsem večkratne izračune optimalnih poti za generiranje kumulativnih kart optimalnih poti. Te smo računali na različne načine: med naključnimi točkami v prostoru, med današnjimi kraji s prisotnimi rimskodobnimi naselbinskimi ostanki ter med samimi rimskodobnimi naselbinami. Kumulativne karte so se izkazale kot uporabno orodje, saj omogočajo vpogled v hierarhijo posameznih odsekov mreže glede na število iteracij. Predvsem na flišnem predelu območja raziskave so se pokazali ključni prehodi in povezave, ki nam pomagajo pri iskanju in razumevanju možnih različic prave rimske cestne mreže. Poleg kumulativnih izračunov smo s principom anizotropičnih površin porabe izračunavali optimalne poti med izbranimi lokacijami, s katerimi smo modelirali rimsko mrežo poti.

### KLJUČNE BESEDE

GIS, optimalne poti, Via Flavia, severozahodna Istra

### ABSTRACT

#### **The search for the Roman road network in North-western Istria**

This contribution presents the GIS use and results at ascertaining the Roman network of routes and roads in North-western Istra. Predominantly we used the multiple calculations of optimal routes for generating cumulative maps of optimal routes. We calculated them in various ways: from the randomly selected points in the environment, between today's settlements with Roman settlement remains and amongst the Roman settlements themselves. The cumulative maps have proven to be useful tools, for they enable the insight into the hierarchy of individual network sections, while taking into account the number of iterations. We found key links and routes that help us understand and find the possible variations of the true Roman road network, which holds especially true for the flysch part of the research area. Apart from the cumulative calculations we have also calculated the optimum routes between the chosen locations (with the principle of anisotropic cost surface) with which we modelled the Roman network of routes and roads.

### KEYWORDS

GIS, optimal routes, Via Flavia, North-western Istria

## 1 Uvod

Prispevek je del širše študije, ki s pomočjo geografskih informacijskih sistemov (GIS) proučuje poselitveni vzorec rimskega podeželja na območju severozahodne Istre. Študijsko območje se v grobem razteza v trikotniku med Trstom, Buzetom in Novigradom. Na vzhodu je zamejeno s Kraškim robom, na jugu z reko Mirno, na zahodu pa z morjem (slika 1). Predstavili bomo uporabo analize optimalnih poti pri razumevanju komunikacijskih koridorjev v prostoru in iskanju rimske mreže poti oziroma cest.



Slika 1: Zemljevid študijskega območja.

Na študijskem območju je aktualna predvsem problematika poteka glavne državne ceste (*via publica*), ki je povezovala kolonijo *Tergeste* z Istro. Gre za glavno cesto, ki je tekla od Akvileje do Pule, in je po treh miljnkih, najdenih severno od Pule, poznana kot *Via Flavia* (Forlati Tamaro 1947, št. 705–707; Bosio 1991, 223). Tem lahko dodamo še miljnik, odkrit l. 1999 v zaselku Sv. Maver pri Krkavčah, ki ga je dal postaviti cesar Vespazijan v poletnem semestru leta 74 (Sakara-Sučević 2004, 12, op. 2). Poleg glavne ceste se predvidevajo še številne ceste nižjega ranga, ki pa so slabo izpričane (Za pregled predvidenih tras rimskih cest na študijskem območju glej npr.: Degrassi 1934, tab. I; Šašel 1975; Truhlar 1975; Bosio 1991; Šonje 1991, 42–50; Matijašić 1998, 421–423; Grapaticopolo 2004.)

Največja koncentracija arheološko odkritih ostankov rimskih cest je v Trstu. Odkriti so bili ostanki glavnih cest, ki so iz kolonije *Tergeste* vodile proti Akvileji in Istri, ter povezovalna cesta med njima (Ventura 1996). Preostalo območje ima relativno skromne arheološke podatke o rimskih cestah. Še najbolj konkreten je tisti, ki najverjetneje potrjuje prehod glavne rimske ceste preko Rižane na Križišču pri Sp. Škofijah (Novšak 2003, 165–166). Del rimske ceste, ki je vodila iz osapske doline v dolino Rižane, je bil odkrit še pri Črnem Kalu na ledini Križišče ter na ledini Gomiščak (Benussi 1927–28, 261; Labud 1995, 63). Odkriti so bili še ostanki rimskih cest na območju vasi Dekani (ANSL, 142) ter severno od vasi Petrovija na Hrvaškem (Matijašić 1986, 83). Poleg že omenjenega miljnika nam potek rimskih cest posredno izpričujeta še dva obcestna kamna. Prvi je iz Črnega Kala (ANSL, 129), drugi pa izvira nekje med Medelini in Sv. Jurajom pri Novi Vasi (Starac 1995, 94). Indice o cestah nam posredno odkriva tudi izročilo in toponimi »rimska cesta« ali »stara cesta«. Tovrstni toponimi ali izročila so znani iz Čenturja, Čežarjev, Pesjancev, Šmarij ter Zanigrada.

## 2 Priprava podatkov

Osnova ali podlaga številnih GIS analiz je digitalni model reliefa (DMR), ki predstavlja numerično obliko zapisa površine prostora. Uporabljen DMR študijskega območja smo generirali z digitaliziranjem plastnic državnih topografskih kart merila 1 : 25.000. Poleg tega smo na območjih aluvialnih ravnin zaradi pomanjkanja višinskih vrednosti selektivno vključili še podatke iz temeljnih topografskih načrtov merila 1 : 5.000. Digitalizirane podatke smo v nadaljevanju dodatno obdelali (po večkratni obdelavi podatkov z različnimi algoritmi interpolacije smo pri končnem rezultatu uporabili »kriging« algoritem, ki iz nepravilno razporejenih točk generira homogeno mrežo) ter tako generirali DMR z ločljivostjo 20 m.

Izračun optimalnih poti je z GIS orodji relativno enostaven. Analiza generira linijo, ki z najmanjšim vložkom premaguje teren med dvema točkama. Pri tem potrebujemo površino porabe do določene ciljne točke in izhodiščno točko. V arheologiji se analize optimalnih poti uporabljajo kot model za generiranje potencialnih preteklih poti ali cest, katerih trase niso poznane (kot primere uporabe analize optimalnih poti v arheologiji glej npr.: Jensen 2003; Podobnikar et al. 2004; Štular 2006a).

Pri analizi optimalnih poti je ključen parameter površina trenja, ki jo uporabimo za izračun površine porabe določene lokacije. Površina porabe lahko predstavlja različne kontekste porabe (npr.: energija, čas) glede na problem, ki ga proučujemo. Za izračun optimalnih poti nam površina porabe preračunano predstavlja energijski vložek, ki je potreben za prečkanje posamezne celice rastra. Osnoven podatek za sestavljanje površine trenja je klasificirana površina naklonov terena, kjer razredom naklona pripišemo pripadajočo vrednost trenja. Pri klasificiranju smo izhajali iz krivulje, ki ponazarja porabo energije metabolizma posameznika med premikanjem po različnih naklonih terena (Llobera 2000, slika 2).

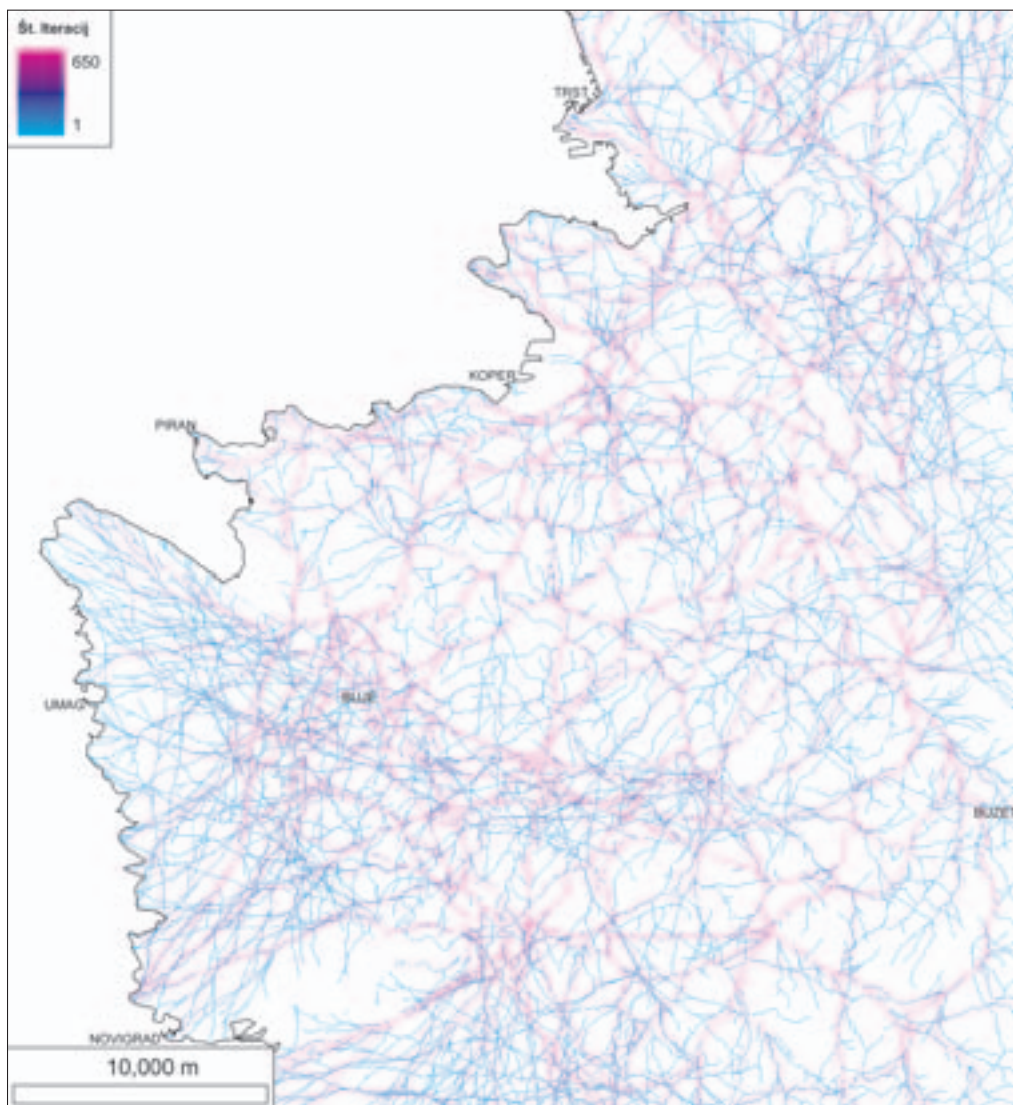
S poizkušanjem izračunavanja posameznih optimalnih poti in ob spreminjanju klasificiranja površine naklonov smo krivuljo nekoliko modificirali. Predvsem smo povečali vrednost trenja naklonom nad 30 stopinj, saj nas zanima predvsem potek rimskih cest, ki so se verjetno izogibale strmejšim pobočjem. Poleg tega smo naklonom od 0 do 5 stopinj določili vrednost 1,5, torej nekoliko več od osnovne vrednosti. Dejstvo je, da so aluvialne doline skoraj brez naklona in algoritem za izračunavanje poti tako najraje določi linijo po sredini teh dolin, kar pa zaradi poplavljanja in zamočvirjenosti ni primerno za gradnjo cest. Osnovno vrednost trenja so imeli nakloni med 5 in 10 stopinj, kar pri izgradnji cest verjetno še vedno ne predstavlja bistvene razlike v težavnosti izgradnje. Po tem popravku so se izračunane optimalne poti umaknile na rob dolin, s tem pa so trase potencialnih poti postale realnejše.

V površino trenja smo dodali še potek nekaterih rek. Upoštevali smo le spodnje tokove Rižane, Dragonje, Mirne in Badaševice, ki smo jim določili višjo vrednost. Kot bariere v prostoru pa smo določili prepadne stene (Kraški rob, klifi v flišu) in morje. Dobljena površina trenja predstavlja vpliv morfologije terena na izračun površine porabe. Kot taka ne upošteva vegetacije in vrste tal, kot tudi ne drugih dejavnikov, ki niso povezani s fizičnim prostorom. Premikanje po prostoru in izgradnja cest se je verjetno prilagajala tudi socialno-ekonomskim dejavnikom, ki so bodisi delovali kot »magneti« ali »odbojniki« v krajini.

Postopek generiranja površine trenja smo preizkusili z izračunom optimalne poti med Vrhniko in Hrušico, kjer je potek rimske ceste relativno natančno določen (glej: Premerstein, Rutar 1899). Rezultat izračunane optimalne poti je zadovoljivo sledil znani trasi rimske ceste med Vrhniko in Hrušico. Na odseku med Vrhniko in Logatcem se je optimalna pot ujemala s t. im. dolinsko potjo.

## 3 Optimalne poti med ključnimi točkami

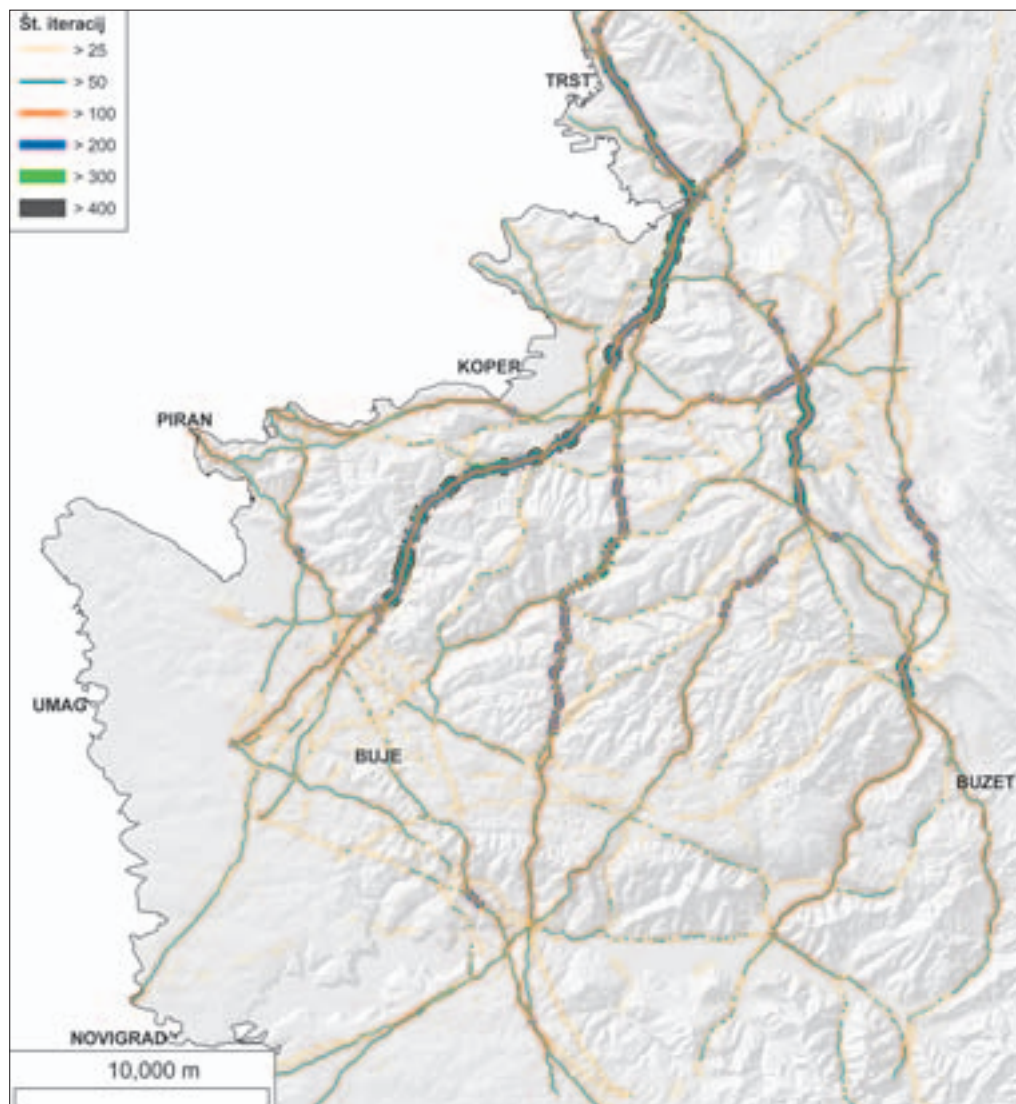
Na podlagi površine trenja študijskega območja smo z izračunavanjem površin porabe za 50 ključnih lokacij ter za vsako od teh lokacij še 200 optimalnih poti do ključnih točk generirali mrežo 10.000 ključnih optimalnih poti. Izračun smo izvajali s programom Grass, kjer smo z ukazom *r.cost* izračunavali površino porabe za ključno točko, z ukazom *r.drain* pa smo za vsako površino porabe



Slika 2: Mreža kumulativnih naključnih optimalnih poti na študijskem območju.

generirali 200 optimalnih poti do naključnih točk (na tem mestu se zahvaljujem Dimitriju Mlekužu, ki je sestavil skripto za avtomatiziranje postopka). Zaradi ponavljanja pri izračunavanju poti prihaja do prekrivanja posameznih poti ali delov poti, kar je izraženo s številom iteracij poti, kjer 1 pomeni enkratno uporabo optimalne poti oziroma celice prostora, do najvišje vrednosti 650 ponovitev nekaterih celic rastra. Kumulativna mreža naključnih optimalnih poti nam pokaže potencial posameznih delov obravnavanega območja za komuniciranje oziroma njegovo prehajanje (slika 2).

Po klasifikaciji dobljenega rezultata laže razberemo hierarhijo posameznih odsekov mreže (slika 3). Razvidno je, da se da prvo linijo optimalne poti zaznati pri najmanj 400 iteracijah. Pomenljivo je, da gre za enotno linijo, ki se vije od Miljskega zaliva proti jugozahodu. Ta, imenujmo jo primarna kumu-



Slika 3: Klasificirane kumulativne naključne optimalne poti na študijskem območju.

lativna linija, je glede na morfologijo terena ključna pri prehajanju obravnavanega območja. Zanimivo, da tudi bolj ali manj odgovarja predvidenemu poteku glavne rimske ceste med Trstom in Bujami.

Nove optimalne linije se pojavijo pri najmanj 300 iteracijah. Odsek nove, t. i. sekundarne kumulativne linije se pojavi v dolini potoka Pinjec, kjer se skoraj ujema z današnjo cesto iz Marezig v dolino Dragonje. Drugi zaznaven odsek sekundarne linije gre od Črnega Kala preko Kubeda do Gračišča. Zadnji nov odsek sekundarne kumulativne linije pa se pojavi na ozkem prehodu, ki vodi iz Movraške vale v dolino potoka Bračana.

Na ravni najmanj 200 iteracij se primarna linija sklene skoraj od Barkovelj do Sermina ter od Bertokov do konca doline Drnice. Predhodno opisana sekundarna linija v dolini Pinjevca se podaljša proti severu



do Vanganela in proti jugu od Škrlin preko Hriba pri vasi Brič v dolino potoka Rusik in zopet preko grebena v slepo dolino potoka Bazuje. Tudi ta del odseka lahko bolj ali manj natančno sledimo po recentnih manjših cestah ali poteh. Morda gre za nekakšno lokalno bližnjico, ki je verjetno v preteklosti povezovala dolino Dragonje, preko osrednjega dela apnenčaste planote med Bujami in Buzetom, z dolino Mirne pri Ponte Portonu. Linija med Črnim Kalom in Gračiščem se proti severozahodu podaljša proti Ospu in proti jugu z manjšim odsekom proti Smokvici. Zanimiv je nov odsek, ki skupaj z linijo med Ospom in Kubedom tvori presečišče, nedaleč od današnjega križišča cest za Gabrovico, Črni Kal ali Stepane.

Z najmanj 100 iteracijami je izraženih že bistveno več kumulativnih linij optimalnih poti. Prejšnje linije se še ojačajo in obogatijo z novimi odseki, pojavi pa se tudi veliko novih linij. Zanimiva je združitev linij od Rižane skozi Čezarje in Pobege do Škocjana, kjer se linija združi s primarno. Nova je kumulativna linija, ki se od Gračišča vzpne do zaselka Poletiči in se spusti v dolino Dragonje. Nadaljuje se v smeri jugozahoda in se zahodno od vasi Čepič dvigne na kraški svet »rdeče« Istre ter se v isti smeri s prekinitivami nadaljuje proti Mirni. Novi so tudi odseki linije, ki povezuje slovensko obalo.

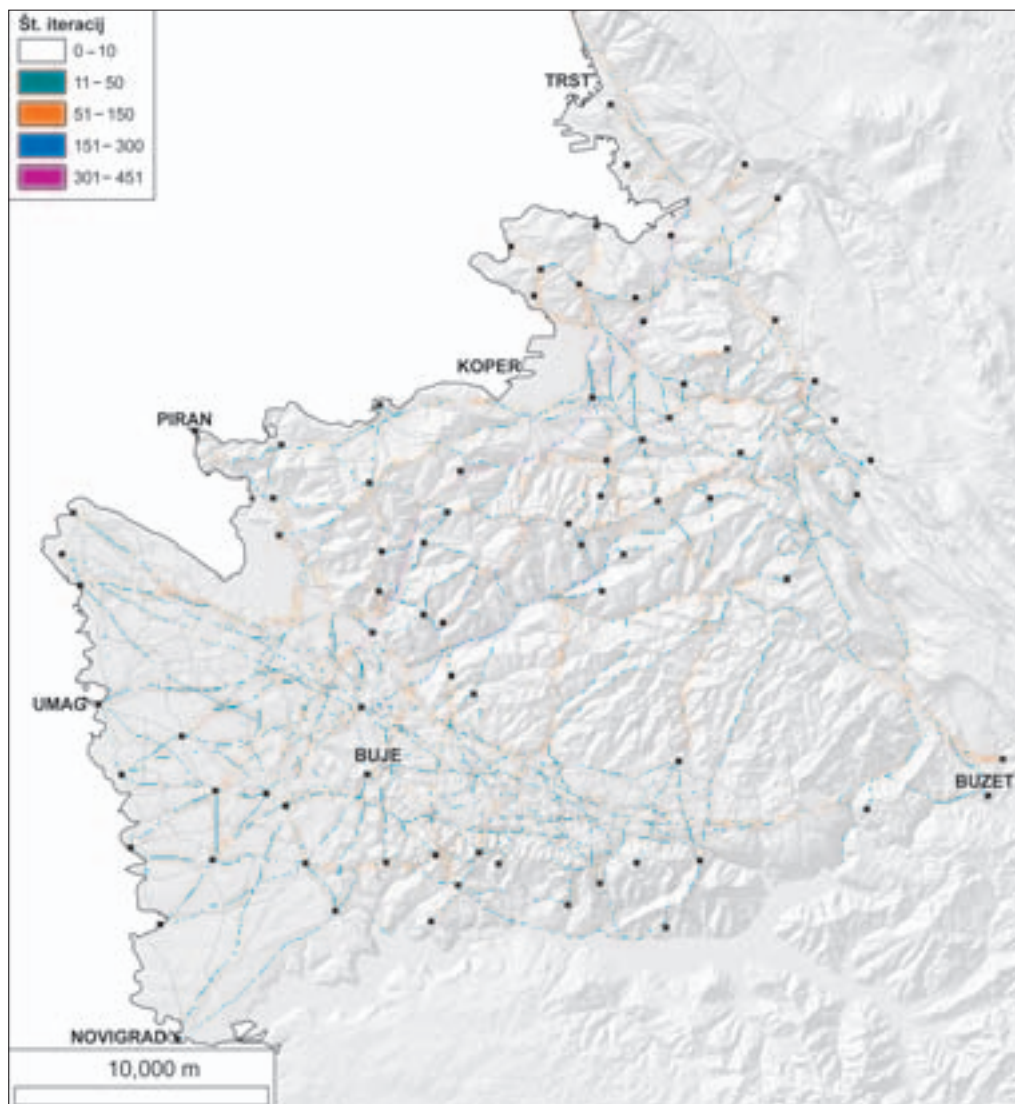
Na apnenčastem terenu se linije prvič jasneje izrišejo šele pri najmanj 100 iteracijah. Zaradi bolj homogenega, položnejšega kraškega reliefa tu ne prihaja do pomnoževanja linij na določenih odsekih (doline, grebeni, prelazi), ampak se linije razpršijo preko širšega prostora in število iteracij je posledično manjše.

Pri preseku mreže optimalnih poti na ravni najmanj 50 oziroma 25 iteracij kumulativne linije tvorijo precej razvejano mrežo po večjem delu območja s številnimi presečišči. Vse že opisane linije se podaljšajo, razcepijo in se med seboj povežejo z novimi odseki. Izpostavijo se tudi nekatera območja presečišč, ki predstavljajo križišča med komunikacijami v prostoru. Takšno je npr. območje v dolini Rižane pri Serminu. Na tem območju je še danes v uporabi toponim Križišče, ki predstavlja križišče komunikacij iz smeri SZ–JV in SV–JZ. Drugo tako območje je križišče pri Črnem Kalu, ki smo ga že omenili. Na tem delu se križajo komunikacije pod Kraškim robom s tistimi, ki se povzpnejo na kraško planoto. Širše območje presečišč linij je tudi pri sotočju Drnice in Dragonje. Omenimo še območje presečišča pri Gračišu, kjer se križajo linije iz Movraške vale, iz smeri Kubeda, Sočerge, iz Pregarske planote in doline Pinjevca.

Seveda opisanih linij ključnih optimalnih poti ne gre jemati kot absolutne trase, na katerih je potrebno iskati pretekle (prazgodovinske ali rimske) komunikacije. Izračun je le orodje za testiranje možnosti prehajanja obravnavanega območja. Algoritem gotovo preferira doline, in ne grebene, saj se linije po grebenih v večjem številu pojavijo šele pri manj kot 50 iteracijah, kar je v nasprotju s polpreteklo cestno mrežo, ki povezuje naselja na flišnih grebenih. Prav tako je izračun manj uporaben na apnenčastem, homogenem reliefu, kjer se iteracije izračunov razpršijo in se ne združujejo tako kot na flišnem, bolj razgibanem reliefu. To nam po drugi strani pokaže, da je kraški svet lažje premostljiv, poti in ceste so imele tudi že v preteklosti daljše ravne odseke in poselitveni vzorec verjetno ni bil toliko pod vplivom možnosti komuniciranja. Rezultat je poleg testiranja tudi realno primerljiv z recentno cestno mrežo, saj se številne linije na določenih odsekih ujemajo predvsem z manjšimi stranskimi cestami in potmi, ki se bolj ravnaajo po konfiguraciji terena kot modernejša magistralne in hitre ceste.

## 4 Optimalne poti med današnjimi kraji s prisotnostjo rimske poselitve

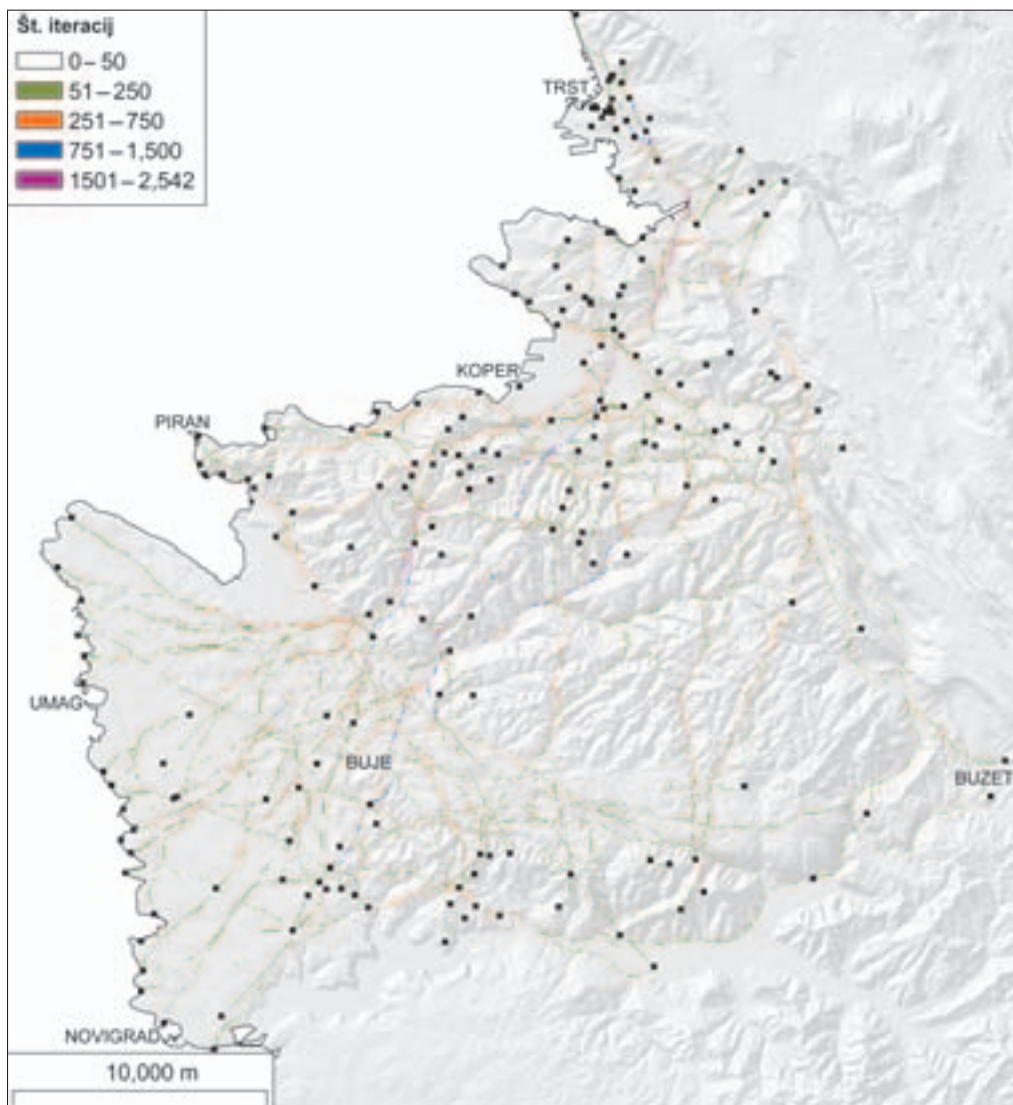
Zaradi preverjanja recentne cestne mreže z rezultati analize optimalnih poti smo mrežo generirali med današnjimi kraji (vasi, mesta), ki imajo v svoji bližini naselbinska najdišča iz rimskega obdobja. Analizo smo izvajali podobno kot v predhodnem primeru, le da smo namesto naključnih točk uporabili 81 krajev, med katerimi smo izračunavali optimalne povezave. Lokacije krajev so služile kot izhodišča za izračun površine porabe, uporabili pa smo jih tudi pri površini trenja. Lokacijam krajev smo določili manjšo vrednost trenja ( $2r = 400$  m; vrednost 0,01) in jo položili na obstoječo površino trenja. S tem so kraji delovali kot privlak pri računanju optimalnih poti med njimi. Mreža poti se je s tem bolj približala realnejši cestni mreži, saj so ceste še do nedavnega največkrat povezovala središča naselij in jih



Slika 4: Klasificirane kumulativne optimalne poti med izbranimi današnjimi kraji. Črni kvadrati predstavljajo izbrane kraje, sive linije predstavljajo recentno mrežo cest in poti.

ne obhajale tako kot moderne ceste. Nekoliko smo površino trenja spremenili tudi glede na naklon reliefa. Trenje smo povišali zgolj v intervalu med 0 in 2 stopinjama naklona. Osnovno vrednost 1 pa smo pripisali naklonom med 2 in 5 stopinjami.

Generirana mreža optimalnih poti med današnjimi kraji vsaj na flišnem območju dokaj realno ponazarja dejansko cestno mrežo (slika 4). Tu se izriše klasična grebenska mreža, ki povezuje kraje na grebenih. Podobno velja tudi za flišno območje na levem bregu Mirne med Bujami in Oprtaljem. Ponovno se kot osrednji »koridor« prehajanja prostora v smeri sever–jug izkaže prehod od Žavelj, preko Škofij, proti Gažonu, v dolino Drnice in mimo Kaštela v Bujštino. Trasa je skoraj enaka že opisani primarni liniji



Slika 5: Klasificirane kumulativne optimalne poti med evidentnimi rimskimi naselbinami na študijskem območju. Črni kvadratki predstavljajo izbrane rimske naselbine.

iz opisa naključnih optimalnih poti (glej zgoraj). Alternativa tej primarni povezavi v smeri sever–jug je grebenski prehod preko Šmarij in Krkavč v dolino Dragonje. Kot tretjo jasnejšo oziroma močnejšo povezavo pa lahko izpostavimo linijo, ki poteka nekako od Marezig, gre v dolino Pinjevca ter skoraj po trasi sodobnih cest in poti poteka po desnem bregu Dragonje do Soln, kjer preide ob južni rob doline in se povzpne do Montrina v Bujštini.

Če celotno kumulativno mrežo optimalnih poti primerjamo z recentno oziroma polpreteklo mrežo cest in poti (mrežo cest in poti iz polpreteklega obdobja smo digitalizirali na podlagi DTK 25, pri čemer smo izhajali iz mreže cest in poti, upodobljenih na Jožefinskih vojaških zemljevidih (glej: Rajšp 1997)),

lahko na nekaterih območjih in odsekih opazimo dobro ujemanje, drugje pa manjše ali večje razhajanje. Pri izračunanih optimalnih poteh pogrešamo predvsem linije, ki bi potekale poševno ali vodoravno po pobočju, kot so speljane nekatere recentne poti ali ceste. To je posledica dejstva, da izračun temelji na izotropični površini porabe, ki ne upošteva smeri prehajanja preko pobočja. Algoritem za izračun optimalnih poti pobočje premaguje pravokotno oziroma direktno po najkrajši možni poti. Kot tak ne ponazarja realnega premagovanja klancev, kar je potrebno upoštevati pri interpretiranju rezultatov (prim. Štular 2006b).

## 5 Optimalne poti med evidentnimi rimskimi naselbinami

V analizi smo uporabili 208 evidentnih naselbin iz rimskega obdobja. Pri površini trenja smo izhajali iz površine trenja, uporabljene pri analizi optimalnih poti med današnjimi kraji (glej zgoraj), le da smo jo sedaj prilagodili glede na podatke o rimskih cestah. Podobno kot pri predhodni analizi smo naselbine vstavili tudi v površino trenja, in sicer kot območja s premerom 120 m in vrednostjo 0,1. Na podoben način smo v površino trenja vstavili še podatke o odkritih rimskih cestah ( $2r = 80$  m, vrednost 0,001), o domnevnih rimskih cestah ( $2r = 400$  m, vrednost 0,5) in podatke o obcestnih kamnih ( $2r = 2000$  m, vrednost 0,5). Vrednosti teh dodatnih slojev smo pomnožili z osnovno površino trenja.

Rezultat analize je kumulativna mreža optimalnih poti med rimskimi naselbinami, ki poleg morfologije terena odraža tudi arheološke podatke (slika 5). Ne smemo je razumeti kot dejanske rimske cestne mreže, ampak kot orodje pri njenem iskanju in ugotavljanju na terenu ter modeliranju prostora.

Tako kot pri predhodnih analizah se tudi tu kot optimalna trasa za prehod preko Šavrinskih hribov ponuja linija preko prelaza pri Gažonu. Kot njena alternativa se je izrisala tudi trasa, ki se od prve odcepi pri Šalari in se preko Bošamarina povzpne do Šmarij. Od tu gre po grebenu, kakor današnja cesta do Krkavč, in se spusti v dolino Dragonje. Trasa linije se nadaljuje proti jugozahodu, se pri zaselku Juki povzpne na planoto in nadaljuje proti Bujam. Tretja je različica prehoda preko prelaza pri Babičih. Ta se odcepi v Bertokih, gre proti jugu do Vanganela in mimo Babičev v dolino Pinjevca pod Glemom. Nadaljuje se po severnem robu doline Dragonje in se preko pobočja Dramac med hribom Fineda s prazgodovinskim gradiščem in Sv. Ivanom z rimsko naselbino povzpne na Bujštino. Tu zavije proti jugu, gre mimo zaselka Bibali do Tribana in naprej.

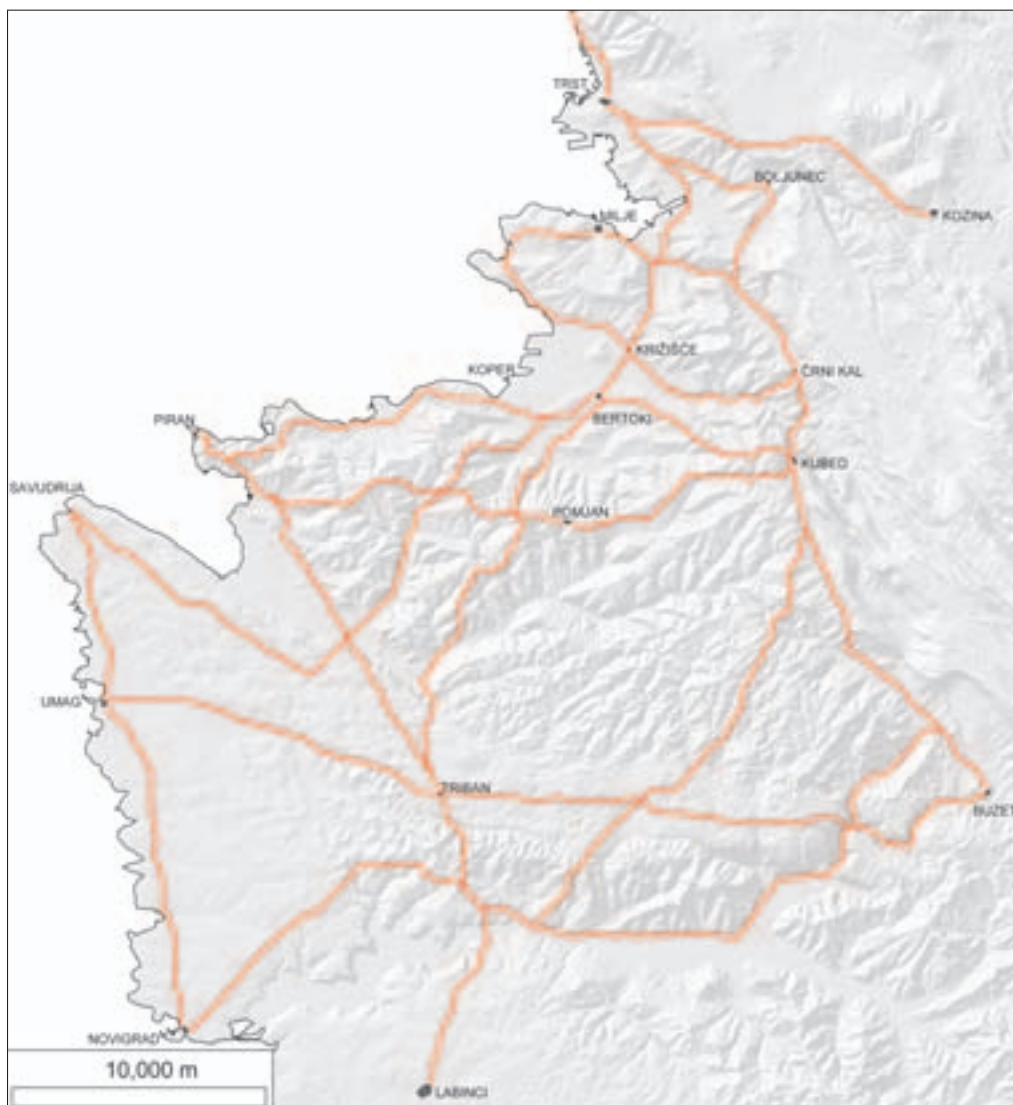
Nekoliko izrazitejše so tudi tri povezave, ki v smeri sever–jug prečkajo Pregarsko planoto. Prva gre od Škrilin mimo Briča v dolino Bazuje. Drugo lahko sledimo izpod Belvedurja pri Topolovcu po dolini Malinske do Čepića, tretja pa je grebenska. Vije se od Gračišča mimo Butarov in naprej po grebenu do Brezovice pri Gradinu. Od tu naprej gre povezava po trasi ceste za Motovun preko Bojenika, v dolino Pregon in preko apnenčaste planote do Oprtalja.

Povezava Trst–Buzet je močno izražena le do Gračišča, naprej mimo Sočerge ali Movraža proti Buzetu pa je število iteracij precej manjše. Po omenjeni trasi je skoraj gotovo potekala že prazgodovinska pot in verjetno tudi rimska cesta. Dejstvo, da število iteracij proti Buzetu upada, je posledica marginalnosti Buzeta v tej analizi. Splošna slabost večine GIS analiz je učinek obroba (angl.: *edge effect*), zaradi česar se pojavov na robu analiziranega območja ne da pravilno ovrednotiti.

Na apnenčastem območju Bujštine je mreža optimalnih poti razpršena glede na posamezne povezave med naselbinami. Z višjimi vrednostmi iteracij izstopajo le nekateri odseki.

## 6 Optimalne poti med izbranimi lokacijami

Po treh kumulativnih mrežah optimalnih poti smo analizirali tudi posamezne odseke med izbranimi lokacijami, na katerih poznamo, ali pa lahko predvidevamo, potek rimske ceste. Pri tem smo površino porabe generirali po principu anizotropičnosti. Predhodne analize so temeljile na izotropični površi-



Slika 6: Mreža optimalnih poti med izbranimi lokacijami, ki temelji na anizotropičnih površinah porabe energije.

ni porabe, ki ne upošteva smeri prehajanja preko terena. Nasprotno anizotropična površina porabe upošteva tudi kot odklona od direktne smeri pobočja. To preprosto pomeni, da glede na nastavitve izračun upošteva zmanjšanje efektivnega trenja, kadar smer prehajanja pobočja ne poteka direktno navkreber. Zmanjšanje efektivnega trenja je pomembno predvsem pri naklonu, kjer se efektivno trenje spreminja glede na smer prehajanja. Anizotropično površino porabe smo izračunavali v programu Idrisi (IDRISI je registriran zaščitni znak laboratorija Crark Labs z univerze Clark University) z modulom *varcost*. Razmerje med kotom odklona od direktne linije in efektivnim trenjem določimo s parametrom  $k$  (Eastman 2003, slika 20-1).

Poleg variabilnega trenja, ki izhaja iz površine naklona, smo pri izračunu površine trenja upoštevali tudi izotropično trenje, ki ni odvisno od smeri. Tako kot pri vseh izračunih smo kot bariere dodali naravne prepreke (morje, prepadi, reke) in mesta z rimskimi naselbinami ter cestnim kontekstom, ki so imela manjše vrednosti od osnovne vrednosti trenja (glej zgoraj).

Z izračuni smo generirali optimalne poti, ki jih lahko razumemo kot potencialne trase rimskih poti ali cest med kraji, za katere se predvideva vpetost v rimsko mrežo cest oziroma poti. Upoštevali smo znane ostanke rimskih cest, med katerimi smo generirali optimalne poti. Poleg glavne komunikacije od Trsta proti Poreču smo simulirali povezavo Trsta z notranjo Istro, ki je najverjetneje potekala preko Buzeta, nadalje obalno komunikacijo, ki jo predvideva Bosio (Bosio 1991), ter preostale krajše odseke, ki jih na podlagi znanih informacij smemo predvideti. Rezultat je mreža optimalnih poti, ki jo lahko razumemo kot simulacijo mreže nekaterih antičnih poti oziroma cest na prostoru med Trstom in Mirno (slika 6).

## 7 Sklep

Namen izračunavanja optimalnih poti na študijskem območju je bil razumevanje prostora v smislu možnosti komuniciranja oziroma prehajanja. Z analizo naključnih optimalnih poti smo predvsem testirali prostor in izpostavili trase oziroma koridorje, ki so glede na naravne danosti ključni pri njegovem prehajanju. Kumulativne optimalne poti med izbranimi današnjimi kraji so poleg morfologije terena upoštevale tudi lokacije krajev ter so zaradi njihove razporeditve izpostavile nekatere alternative pri prehajanju prostora. Podobno velja za kumulativne optimalne poti med rimskimi naselbinami, ki poleg morfologije terena odražajo tudi razpoložljive arheološke podatke s cestnim kontekstom in simulirajo vpetost vseh naselbin v mrežo poti oziroma cest. Z zadnjo analizo smo glede na predhodne analize in glede na arheološke podatke modelirali rimsko mrežo poti oziroma cest, ki jo lahko uporabimo kot model pri analiziranju odnosa distribucije rimskih naselbin glede na bližino komunikacijskih tras.

Analize optimalnih poti so med drugim izpostavile dejstvo, da je prehajanje prostora težje na predelih fliša, z erodirano morfologijo, na apnenčastih planotah pa potek komunikacij ni toliko odvisen od naravnih danosti. Sklepamo lahko, da se komunikacije na apnenčastih planotah oblikujejo po najkrajši možni trasi oziroma glede na kulturne dejavnike.

## 8 Viri in literatura

- ANSL 1975: Arheološka najdišča Slovenije. Ljubljana.
- Benussi, A. 1927–28: Dalle annotazioni di Alberto Puschi per la Carta archeologica dell'Istria. *Archeografo Triestino* 14, s. 3. Trieste.
- Bosio, L. 1991: *La strade romane della Venetia e dell'Histria*. Padova.
- Degrassi, A. 1934: *Inscriptiones Italiae, regio X, Parentium*. Roma.
- Forlati Tmaro, B. 1947: *Inscriptiones Italiae, regio X, Pola et Nesactium*. Roma.
- Eastman, J. R. 2003: *IDRISI Kilimanjaro, Guide to GIS and Image Processing. Manual Version 14.00*. Worcester.
- Gramaticopolo, R. 2004: *Via Flavia, strada romana nell'Istria romanizzata*. *Archeografo Triestino* IV, 64 (112). Trieste.
- Jensen, D. E. 2003: *Geoglyphs and GIS, Modeling Transhumance in Northern Chile*. CAA 2002, *The Digital Heritage of Archaeology, Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, Proceedings of the 30th Conference*, Heraklion, Crete, April 2002. Hellenic Ministry of Culture.
- Labud, G. 1995: *Ricerche storico-ambientali dell'Istria settentrionale, la valle del fiume Risano*. *Studies in Mediterranean Archaeology and Literature*. Jonsored.

- Llobera, M. 2000: Understanding movement, a pilot model towards the sociology of movement. Beyond the Map, *Archaeology and Spatial Technologies*. NATO Series A, Life Sciences 321. Ohmsha.
- Matijašič, R. 1998: Gospodarstvo antičke Istre, Arheološki ostaci kao izvor za poznavanje društveno-gospodarskih odnosa u Istri u antici (I. st. pr. Kr. – II. st. posl. Kr.). *Povijest Istre IV*. Pula.
- Novšak, M. 2003: Križišče pri Sp. Škofijah. *Zemlja pod vašimi nogami, Arheologija na avtocestah Slovenije, Vodnik po najdiščih*. Ljubljana.
- Podobnikar, T., Tecco Hvala, S., Dular, J. 2004: Iterative Approach to Ancient Paths Modelling in the Iron Age Study. Enter the Past, The E-way into the Four Dimension of Cultural Heritage, CAA 2003, Computer Application and Quantitative Methods in Archaeology, Proceedings of the 31st Conference, Vienna, Austria, April 2003. BAR International Series 1227. Oxford.
- Premmerstein, A. von, Rutar, S. 1899: *Römische Strassen und Befestigungen in Krain*. Wien.
- Rajšp, V. (ur.) 1997: *Slovenija na vojaškem zemljevidu 1763–1787 (1804)*, Zvezek 3. Ljubljana.
- Sakara-Sučević, M. 2004: *Kaštelir, Prazgodovinska naselbina pri Novi vasi/Brtonigla (Istra)*. Koper.
- Šašel, J. 1975: *Rimske ceste v Sloveniji*. ANSL. Ljubljana.
- Šonje, A. 1991: *Putevi i komunikacije u prethistoriji i antici na području Poreštine. Poreč–Pazin*.
- Štular, B. 2006a: *Analiza gospodarskega zaledja in arheologija krajin. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2005–2006*. Ljubljana.
- Štular, B. 2006b: *Prostor blejskih planin v srednjem veku. Človek v Alpah*. Kamnik.
- Ventura, P. 1996: *Tergeste romana, elementi per la forma urbis. Archeografo Triestino IV*, 56 (104). Trieste.
- Starac, A. 1995: *Unutrašnjost Histrije u vremenu rimske vlasti. Histria archaeologica 26*. Pula.
- Truhlar, F. 1975: *Stara pota ter poskus rekonstrukcije nekdanje prometne mreže*. ANSL. Ljubljana.

## UPORABA DALJINSKEGA ZAZNAVANJA ZA ODKRIVANJE MAJEVSKIH ARHEOLOŠKIH NAJDIŠČ

**dr. Kristof Oštir**

Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU

Novi trg 2, 1000 Ljubljana

kristof@zrc-sazu.si

UDK: 528.8:902.2(=821.173)

### IZVLEČEK

#### **Uporaba daljinskega zaznavanja za odkrivanje majevskih arheoloških najdišč**

Daljinsko zaznavanje predstavlja hiter in učinkovit način pridobivanja podatkov o večjih in teže dostopnih območjih. Arheološke aplikacije opazovanja iz zraka in vesolja omogočajo določanje značilnosti najdišč in njihovo posredno ali neposredno opazovanje. Obravnavane so možnosti, ki jih ponujajo sodobni snemalni sistemi, tehnike obdelave podob in težave s katerimi se srečujemo. Za izbrane okoljske značilnosti je pokazana razlika med arheološkimi najdišči in naključnimi točkami, kar omogoča izdelavo napovedovalnega modela. Napovedovalni model za arheološka najdišča je mogoče zgraditi z upoštevanjem naklona in ukrivljenosti reliefa ter stanja vegetacije.

### KLJUČNE BESEDE

arheologija, Landsat, SPOT, radar, letalska fotografija, daljinsko zaznavanje

### ABSTRACT

#### **Application of remote sensing in the detection of Maya archaeological sites**

Remote sensing is a fast and efficient mean to obtain data over larger and difficultly accessible areas. Archaeological applications of air and space borne earth observation can provide characteristics of sites and their indirect or direct observation. In the paper possibilities of contemporary imaging systems, image processing methodology and problems, are described. For selected environmental parameters the difference between archaeological and random points, that enables the composition of predictive models, is shown. The archaeological site predictive model has to be based on slope and curvature of the relief, supported by the vegetation status indicators.

### KEYWORDS

archaeology, Landsat, SPOT, radar, aerial photography, remote sensing



## 1 Uvod

Daljinsko zaznavanje predstavlja hiter in učinkovit način pridobivanja podatkov o večjih območjih. Tradicionalne metode arheološkega dela, predvsem izkopavanje, pogosto uničijo sam predmet raziskave, medtem ko je opazovanje na daljavo nedestruktivna metoda, ki je poleg tega neprimerno cenejša od terenskega pregleda. Pri arheološkem daljinskem zaznavanju opazujemo lastnosti, ki jih pogosto ni mogoče zaznati na površju, jih natančno kartiramo in interpretiramo (Kvamme 2005).

Prve primere uporabe daljinskega zaznavanja v arheologiji srečamo že pred sto leti. V začetku dvajsetega stoletja so namreč iz balona posneli prvo večje arheološko najdišče, in sicer Stonehenge (Kvamme 2005). Letalsko fotografijo, ki je bila veliko v uporabi v prvi polovici prejšnjega stoletja, so skoraj v celoti nadomestili multispektralni (še posebej visoko ločljivi) satelitski senzorji in talni instrumenti, recimo terestrični radar in lidar. Večino človeške zgodovine lahko opazujemo prek človekovega vpliva na okolje in daljinsko zaznavanje predstavlja odličen pripomoček za odkrivanje tega. Trdimo lahko, da sta zaznavanje na daljavo in obdelava podob danes že klasični orodji pri arheološkem delu.

Letalska fotografija predstavlja najstarejši način uporabe daljinskega zaznavanja v arheologiji. Interpretacija fotografij je pomagala odkriti in kartirati marsikatero najdišče, kljub temu pa je šele razvoj multispektralnih senzorjev in satelitskega snemanja pomenil resničen premik v opazovanju (Kvamme 2005). Pri tem je igralo pomembno vlogo več satelitskih sistemov, od katerih je verjetno najpomembnejši Landsat. Landsat je bil prvi satelit, ki je sistematično snemal površje in ustvarjal periodične posnetke v več spektralnih kanalih, posebej primernih za opazovanje in analizo okolja in naravnih virov. Kljub temu, da je njegova prostorska ločljivost – 30 m – neprimerna za neposredno odkrivanje najdišč, je bil (in deloma še vedno je), poleg satelita SPOT, najpomembnejši vir podatkov v arheoloških raziskavah (Kvamme 2005).

V začetku osemdesetih let dvajsetega stoletja je pozornost arheologov vzbudilo radarsko daljinsko zaznavanje, predvsem Space Shuttle Imaging Radar (SIR-A). Z radarjem je bilo namreč mogoče opazovati zasute kanjone in rečne kanale več metrov pod peskom v Sahari (El Baz 1997). Kasneje so znanstveniki uspešno uporabili še več drugih radarskih sistemov, recimo ERS in Radarsat. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), sistem, ki ga je NASA leta 2000 namestila na vesoljsko plovilo, je s tehniko radarske interferometrije ustvaril natančen model višin 80 % zemeljske površine. Model z ločljivostjo 30 m predstavlja odlično osnovo za regionalne arheološke prostorske analize.

Visoko ločljivi satelitski sistemi z ločljivostjo velikostnega reda enega metra lahko neposredno zaznajo arheološke objekte in z njimi povezane značilnosti (Fowler 2002, Kvamme 2005). Satelita Ikonos in QuickBird, ki sta bila izstreljena leta 1999 in 2001, ponujata multispektralno ločljivost 4 m in 2,4 m v štirih kanalih in pankromatsko ločljivost 1 m in 0,61 m. Razvoj laserskega merjenja razdalj je prinesel naslednjo revolucijo v opazovanje. Z lidarjem (light detection and ranging), ki je optični ekvivalent radarju, je namreč mogoče ustvariti natančne modele topografije površja (celo pod vegetacijskim pokrovom). Navpična natančnost, ki jo pri tem dosegamo je nekaj centimetrov, vodoravno pa, odvisno od sistema, dobimo več točk (meritev) na kvadratni meter.

Prvi znani primer uporabe daljinskega zaznavanja pri proučevanju Majev predstavljajo fotografije, ki jih je na polotoku Jukatan leta 1929 posnel Charles Lindbergh. V sedemdesetih letih prejšnjega stoletja so raziskovalci pričeli uporabljati posnetke Landsat z določanje arheoloških ostankov v pragozdovih Srednje Amerike (El-Baz 1997). Kljub temu, da je ločljivost sledenjih premajhna za neposredno opazovanje najdišč, so omogočili pomembna odkritja, recimo poti (Adams et al. 1981; Folan et al. 1995). Adams et al. (1981) so na radarskih podatkih, ki jih je NASA posnela v letih med 1977 in 1980 nad Gvatemalo in Belizejem, odkrili močan odboj v primeru ugodne geometrije piramid in obsežen sistem kanalov. Različni visokoločljivi letalski in satelitski posnetki so omogočili celo neposredno zaznavanje najdišč (Holcomb 1998; Sever in Irwin 2003). Saturno et al. (2006) so z uporabo širokega spektra podatkov (Landsat TM in ETM+, Ikonos in STAR-3i) poskušali identificirati poti, vodne rezervoarje, ter namakalne in izsuševalne sisteme. V prihodnje lahko pričakujemo povečano uporabo visoko ločljivih

satelitskih in letalskih sistemov ter lidarja, pomembna pa bo tudi uporaba terestričnih senzorjev (El Baz 1997).

## 2 Metode daljinskega zaznavanja v arheologiji

Glavni namen arheološkega daljinskega zaznavanja je iskanje nasprotij med arheološkimi dejavniki in naravnim okoljem. Arheološka najdišča, četudi skrita pod drevesnimi krošnjami, imajo drugačne fizične lastnosti kot njihova okolica. Razlike, ki jih opazimo na posnetkih, imenujemo anomalije. Zasu-to obzidje v primerjavi z okoljem, na primer, drugače odbija radarsko valovanje, počasneje seva toplotno energijo, je lahko bolj magnetno ali »ovira« rastline nad seboj (Kvamme 2005).

Obstaja veliko načinov za določanje arheoloških najdišč iz podatkov daljinskega zaznavanja. Sever in Irwin (2003) sta recimo poskusila opazovati linearne objekte, ki bi bili lahko povezani s potmi ali kanali, iskala sta povezavo med naselji in vegetacijo, hidrologijo ter geologijo, skušala sta poiskati ugodno mikrotopografijo za najdišča. Poleg tega sta ustvarila natančne vegetacijske karte in kartirala vodne rezervoarje. Rothaus in De Morett (2001) sta se posvetila vizualnemu opazovanju. Pri tem sta predpostavljala, da so Maji intenzivno izkoriščali zemljo, ter ugotovila, da je potrebna ne le uporaba multispektralnih ampak tudi več senzorskih in več časovnih podatkov.

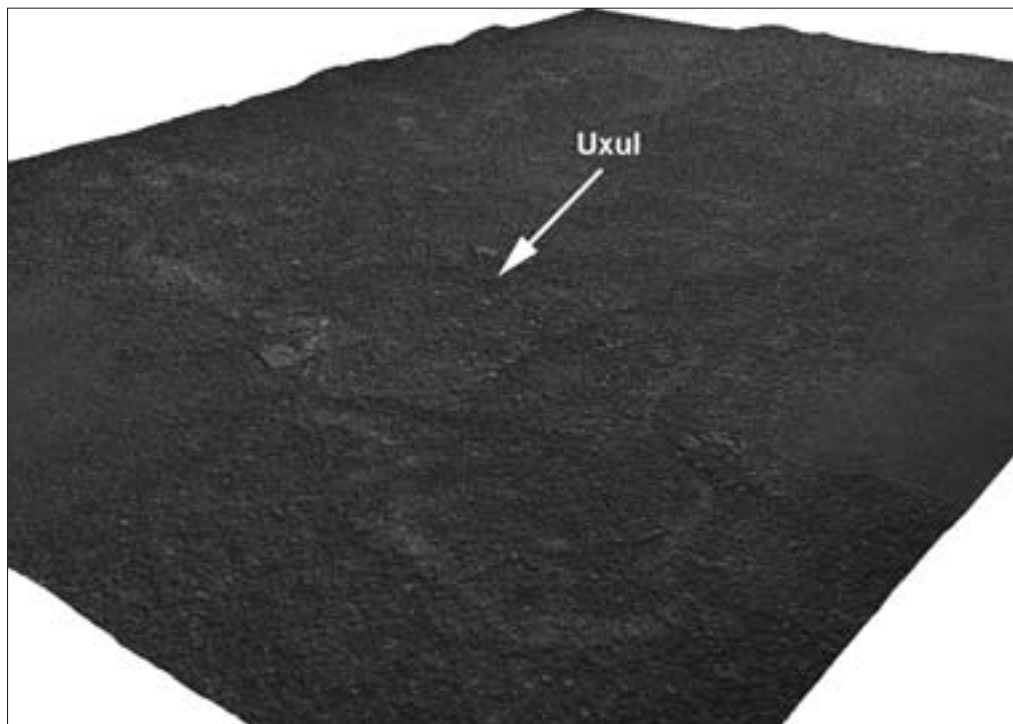
Kljub temu, da je daljinsko zaznavanje zelo razširjena tema v arheologiji, pa je v literaturi le malo opisov konkretnih uporabljenih postopkov obdelave (Rothaus in De Morett 2001). Prav obdelava podob namreč iz niza numeričnih vrednosti ustvari informacije, ki jih lahko uporabimo za rešitev konkretnega problema. Zaradi šuma, napak, popačenja, slabega kontrasta in podobno so namreč surove podobe za arheološke (in tudi številne druge) namene le pogojno uporabne. Potrebno je ustrezno procesiranje z uporabo programske opreme za obdelavo podob ali fotogrametrijo oziroma sistem GIS, ki pogosto vsebuje nekaj orodij prvih dveh (Kvamme 2005).

Analiza podob je praviloma omejena na enostavno vizualno interpretacijo v povezavi z osnovnimi koraki izboljšanja podob (spreminjanje kontrasta, filtriranje, transformacije). Šele v zadnjem času se težišče raziskav seli k naprednejšim analizam, tako z optičnimi kot z lidarskimi in radarskimi podatki. Različni avtorji predlagajo uporabo tehnik prepoznavanja vzorcev in računalniškega vida (Lira et al. 2005).

## 3 Letalska fotografija in satelitski posnetki

Za odkrivanje arheoloških najdišč v osrednjem delu polotoka Jukatan v Mehiki smo uporabili tako letalske kot satelitske posnetke. Letalsko snemanje je v letih 1995 in 1996 opravilo kanadsko podjetje Geographic Air Survey za kartiranje Calakmul Biosphere Reserve (Conabio 1995–1996). Približno 400 fotografij smo vizualno interpretirali s stereoskopom, jih skenirali in fotogrametrično obdelali, to je izdelali podobe ortofoto in model višin.

Letalske fotografije so bile posnete v merilu 1 : 20.000 z analogno kamero Wild RC 30 ter skeniranje z ločljivostjo 0,6 m. Snemanje je potekalo v štirinajstih snemalnih linijah s približno 60 % vzdoljnimi in 30 % stranskim prekrivanjem. Fotografije smo razdelili v štiri bloke, ki smo jih obdelali posebej. Najprej je bilo potrebno določiti notranjo orientacijo kamere in približne vrednosti parametrov zunanje orientacije (koordinate centra posnetka, povprečno višino leta in začetne rotacijske kote). Določanje zunanje orientacije je bilo težavno ker posnetki v glavnem pokrivajo gozd in je mogoče najti le malo karakterističnih objektov. Natančne karte za omenjeno območje ne obstajajo, izmera na terenu pa ni bila mogoča. Za fotografije smo zato poznali le koordinate centrov, pa še te z natančnostjo od 50 do 100 m. Določili smo lahko približno 50 kontrolnih točk na blok, natančnost triangulacije in povezanost znotraj bloka pa smo popravili z izbiro večjega števila veznih točk (25 na posnetek).

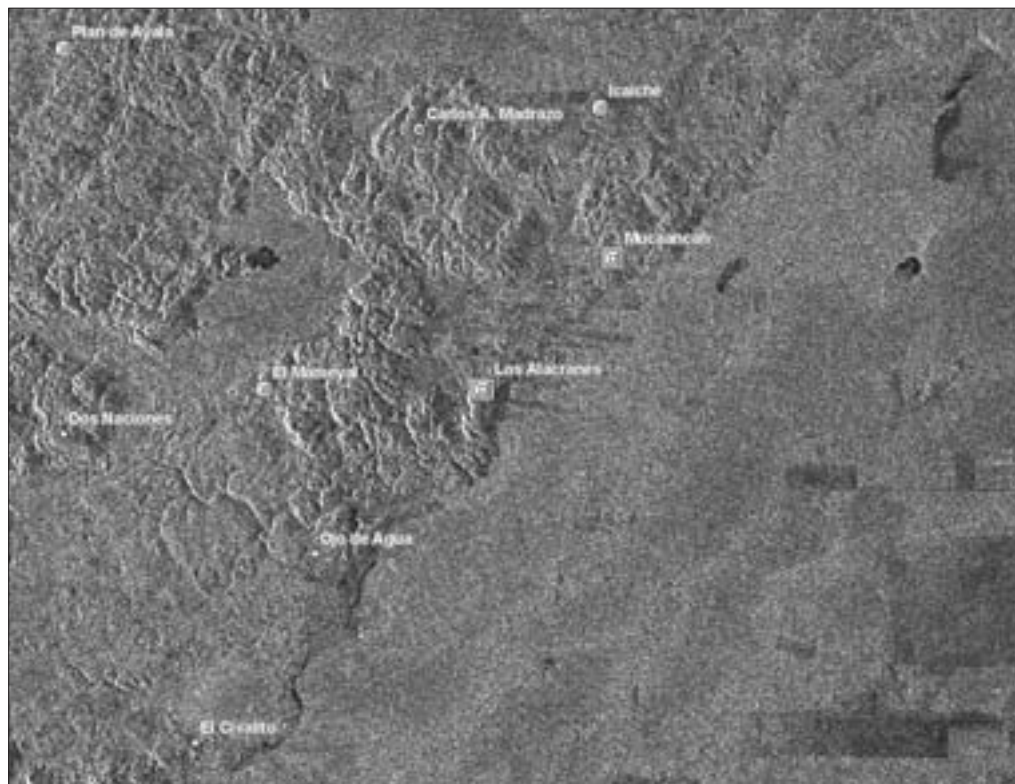


*Slika 1: Perspektivni pogled najdišča Uxul. Prek digitalnega modela višin je napet posnetke ortofoto.*

Končni rezultat obdelave so bile ortofotografije z ločljivostjo 0,6 m in digitalni model višin z ločljivostjo 6 m. Podobe kažejo zelo dobro ujemanje znotraj bloka, so pa zaradi pomanjkanja natančnih kontrolnih točk slabo pozicionirane absolutno. Podobno velja za digitalne modela višin, ki dobro sledijo obliki površja, niso pa absolutno zanesljivi. Kljub temu so letalske podobe omogočile stereo opazovanje in zaznavanje piramidalnih struktur pod drevesnimi krošnjami (slika 1). Ustvarjeni model višin je za velikostni razred boljši od obstoječih modelov opazovanega območja in jasno kaže »nenaravne« oblike. Njegova glavna težava je dejstvo, da podaja obliko vrha drevesnih krošenj in ne samega površja.

Poleg letalskih posnetkov smo za opazovanje najdišč Majev uporabili tudi različne optične (SPOT in Landsat) ter radarske (ERS) satelitske posnetke. Ker gre za podobe srednje ločljivih senzorjev, smo vse podobe georeferencirali z enostavno polinomsko transformacijo. Iz podobnih razlogov kot pri letalskih posnetkih pa tudi v tem primeru ni bilo enostavno dobiti zanesljive kontrolne točke. Vegetacija namreč prekriva večino opazovanega območja, topografske karte v merilu 1 : 50.000 pa so zastarele in nenatančne. Z uporabo 50 do 100 kontrolnih točk na posnetek smo dosegli položajno natančnost enega do dveh pikslov.

Posnetke ERS (European Remote Sensing Satellite) smo obdelali interferometrično. Uporabili smo dva posnetka sistema satelita ERS 1, zajeta 1996-02-11 in 1996-04-22. S časovnim razmikom dobrih dveh mesecev smo želeli opazovati razlike v vlažnosti tal in različno stanje vegetacije ter oboje povezati z arheologijo. Žal pa je časovna dekorelacija (sprememba radarskega odziva) v gozdu popolnoma onemogočila interferometrično obdelavo. Podobi smo zato, skupaj s koherenco, ki je merilo za spremembe, vizualno interpretirali. Opaziti je bilo mogoče več nenavadnih objektov, ki pa so bili v glavnem povezani s sodobnimi kmetijskimi praksami krajevnih prebivalcev (slika 2). Nekatera najdišča so na posnetkih sicer opazna, vendar pa je količina »šuma« prevelika za samodejno zaznavanje.

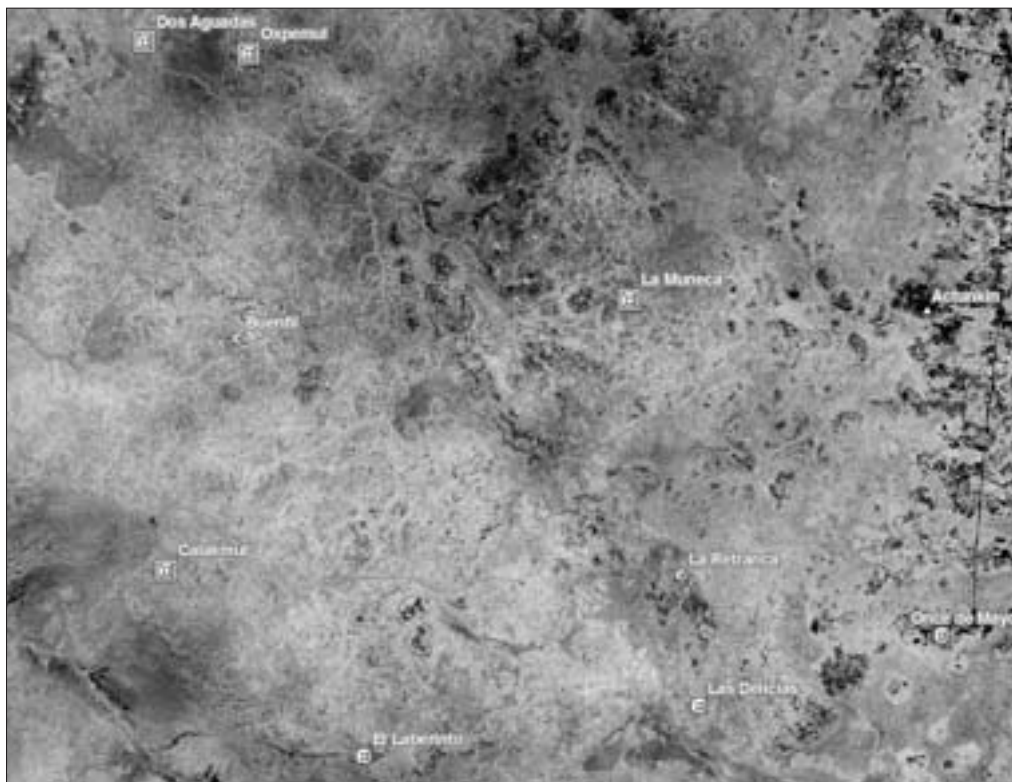


Slika 2: Interpretacija radarskih posnetkov ERS je omogočila opazovanje stanja vegetacije ne pa enolične povezave z najdišči.

Precej boljše rezultate smo dobili z optičnimi podobami SPOT in Landsat. Uporabili smo dve pan-kromatski podobi satelita SPOT, posneti 2002-11-23 in 2001-03-31. Ločljivost uporabljenih podob je 10 m, kar je premalo za opazovanje najdišč, omogoča pa zaznavanje »nenavadnih« objektov. Uporabili smo filtre za odkrivanje robov (poleg običajnih tudi naprednejše, recimo z upoštevanjem položaja sonca), ki so poudarili nenadne skoke vrednosti na posnetkih. Tudi v tem primeru pa je bilo poleg zaznanih najdišč preveč »napačnih zadetkov«. Kljub temu pa so bili posnetki SPOT odlična kartografska podlaga, ki je izdatno olajšala terenski pregled.

Landsat ima prostorsko ločljivost precej slabšo kot SPOT, vendar pa so njegove spektralne karakteristike mnogo bolj primerne za arheološko uporabo. Sedem spektralnih kanalov, od vidne prek bližnje in srednje do termične infrardeče svetlobe, namreč omogoča odkrivanje anomalij, ki so lahko povezane z najdišči. V študiji smo uporabili posnetek, ki ga je satelit Landsat 7 ustvaril s senzorjem Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) 2000-03-27. Opazovali smo odbojne vrednosti v posameznih kanalih, poleg tega pa tudi različna spektralna razmerja. Kanali 3, 4, 5 in 7 so zelo občutljivi na vegetacijo in zato razkrivajo območja človekovega vpliva na rastlinje. Razmerje kanalov omogoča poudarjanje majhnih razlik med njimi, poleg tega pa odstrani vpliv različnih osvetlitvenih pogojev. Sončna in senčna lega, na primer, imata namreč različne absolutne vrednosti v posameznih kanalih, medtem ko je njihovo razmerje neodvisno od osvetljenosti.

Vegetacija ima zaradi klorofila zelo močan odboj v bližnjem infrardečem in nizek odboj v rdečem delu elektromagnetnega spektra. Razmerje med njima je torej znak prisotnosti in stanja vegetacije. Nor-



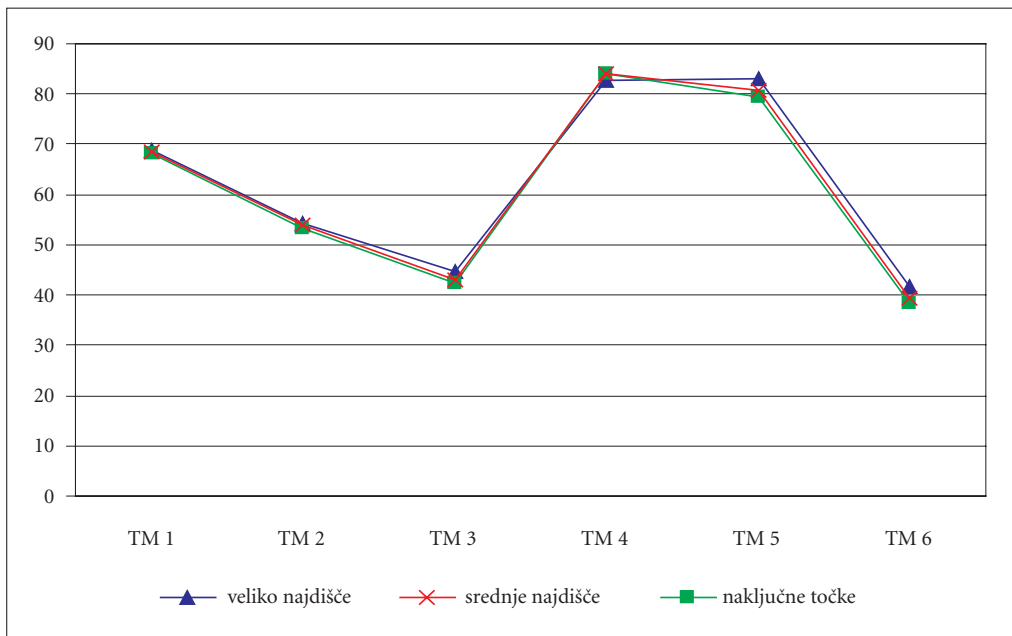
Slika 3: Normiran diferencialni vegetacijski indeks NDVI, dobljen iz podatkov senzorja Landsat ETM+.

miran diferencialni vegetacijski indeks (NDVI), ki je definiran kot  $(IR-R)/(IR+R)$ , je neposredno povezan s količino biomase. Gola tla imajo približno enak odboj v obeh omenjenih pasovih in torej vegetacijski indeks blizu nič, medtem ko ima intenzivna vegetacija visoke vrednosti (večje od 0,5). Vsaka sprememba rasti, povezana z različno podlago, prisotnostjo ali odsotnostjo vode, povzroči spremembo NDVI. Poleg vegetacijskega obstaja še nekaj drugih spektralnih razmerij, pomembnih za arheologijo. Rothaus in De Morett (2001) sta na primer ustvarila barvni kompozit, pri čemer sta razmerje 5/4 prikazala v rdeči, 7/5 v zeleni in 7/4 v modri barvi.

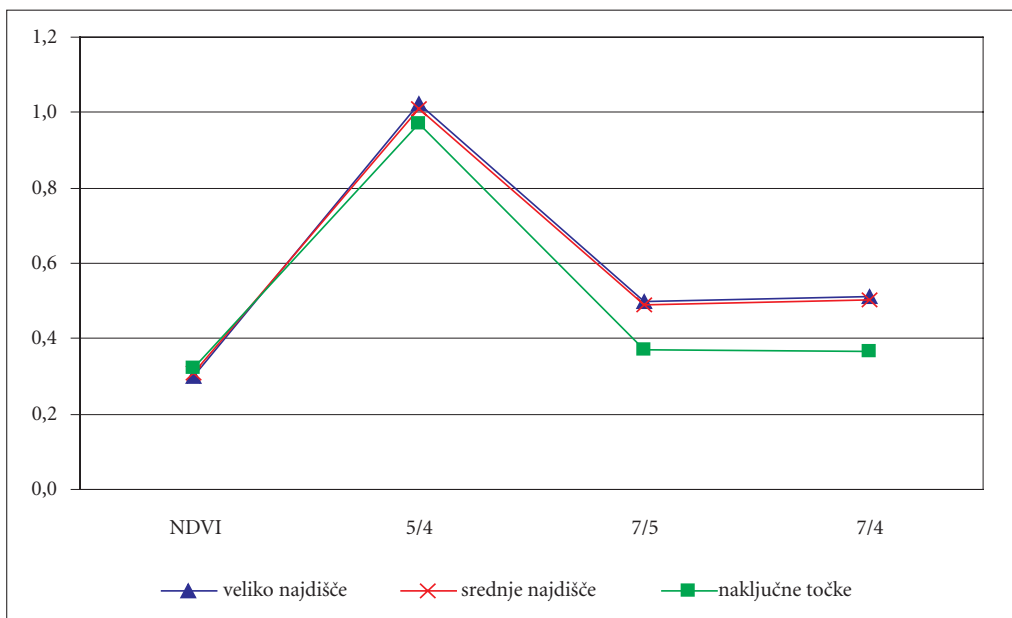
#### 4 Karakteristike arheoloških najdišč

Zaznavanje arheoloških najdišč je mogoče na osnovi razlike med njimi in okolico (Kvamme 2005). Če torej lahko določimo karakteristike najdišč in so te drugačne kot pri naključnih točkah, lahko lokacijo najdišč napovemo. V študiji smo lastnosti najdišč opazovali na satelitskih posnetih Landsat ETM+ in digitalnem modelu višin.

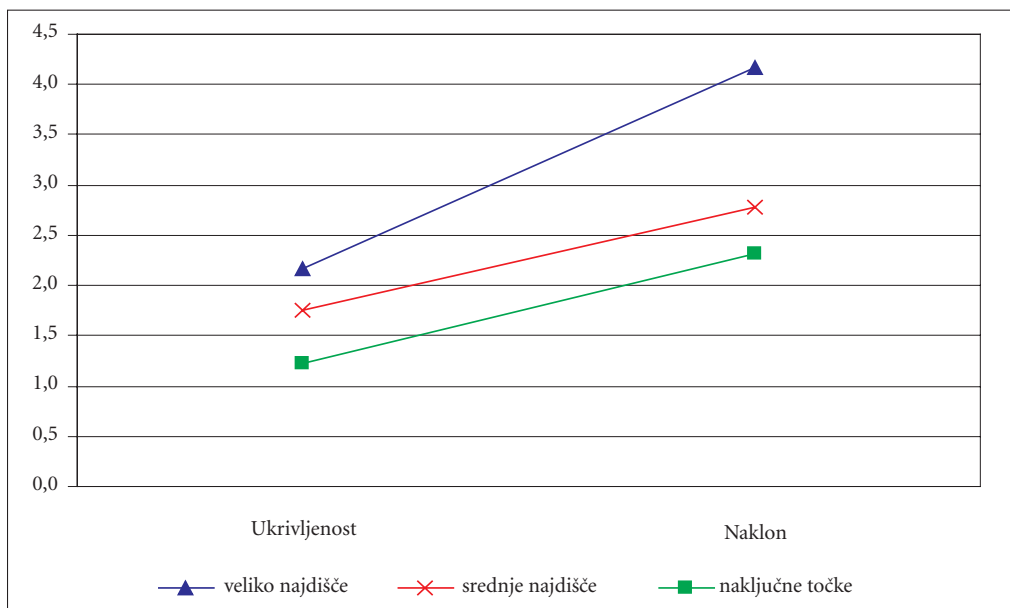
Arheološka podatkovna zbirka centralnega Jukatana, ki smo jo uporabili, zajema podatke o 63 najdiščih, ki imajo ustrezne atribute (koordinate, tip in velikost). V večini primerov smo uporabili samo večja in srednja najdišča (skupaj 33), ker smo za ta pričakovali značilnejše vrednosti in ker manjša najdišča niso bila vsa dokumentirana. Poleg tega smo se omejili na značilne lokacije, to je take ki niso blizu cest in naselij in nimajo sekundarne vegetacije (omenjeni faktorji vplivajo na vrednosti odboja pri sate-



Slika 4: Spektralni odboj arheoloških najdišč se razlikuje od odboja naključnih točk, vendar so razlike majhne.



Slika 5: Razliko med najdišči in okolico poudarijo spektralna razmerja.



Slika 6: Naklon in ukrivljenost ta večja za najdišča kot naključne točke.

litskem posnetku). Značilnosti smo opazovali v okolici najdišč, pri čemer smo uporabili kroge z radijem 50, 250 in 1000 m. Ker rezultati pri različnih radijih sledijo enakemu trendu in kažejo le relativne razlike, smo večino podrobnih analiz opravili z radijem 250 m, kar pomeni krog s premerom 500 m okrog najdišča. Indikatorje najdišč smo primerjali s 60 točkami, ki so naključno porazdeljene na študijskem območju; te so lahko tudi najdišča, vendar predvidevamo, da je odstotek teh zelo majhen, še posebej za večja in srednja najdišča.

Odbojne vrednosti v posameznih kanalih posnetka Landsat ETM+ kažejo razliko med naključnimi točkami in arheološkimi najdišči. Vendar pa so odstopanja majhna – še najbolj so vidna v kanalih 4, 5 in 7 (slika 4). Nekoliko bolj so razlike vidne pri razmerjih kanalov, to je normiranem diferencialnem vegetacijskem indeksu in razmerjih 5/4, 7/5 in 7/4 (slika 5). Arheološka najdišča imajo nižji vegetacijski indeks od naključnih točk, kar pomeni, da je rast vegetacije na njih in v njihovi okolici »zmotena«. Še posebej je razlika očitna pri razmerjih 7/5 in 7/4, ki sta indikatorja tako za vegetacijo kot kamninsko podlago. V obeh primerih je indeks skoraj za polovico večji pri najdiščih kot pri naključnih točkah.

Višina in usmerjenost najdišč se ne razlikujeta od okoliških točk, precej bolj jasno pa je stanje pri naklonu in ukrivljenosti (drugem odvodu višine). Najdišča, še posebej večja, se nahajajo na bolj strmih in bolj razgibanih območjih (slika 6). Statistična analiza kaže celo na značilno povezavo med velikostjo najdišč in različnimi parametri ukrivljenosti.

## 5 Sklep

S predstavljenimi preliminarnimi rezultati smo pokazali, da daljinsko zaznavanje predstavlja primerno orodje v arheoloških raziskavah Majev. Uspešno smo namreč določili osnovne okoljske značilnosti arheoloških najdišč in opazili njihovo ločevanje od naključnih točk. Kljub temu pa bo potrebno še veliko dodatnega dela. Prvi korak predstavlja analiza dodatnih podatkov, predvsem viso-

ko ločljivih satelitskih posnetkov, več časovnih posnetkov satelita Landsat ter boljšega, recimo lidar-skega, modela višin. Poleg tega je potrebno dodatno izboljšati tehnike obdelav. Zanimajo nas namreč najdišča, ki ležijo pod gostim vegetacijskim pokrovom in se na običajnih podobah le malo razlikujejo od okolice. Morebitni napovedovalni model (večjih) najdišč bo temeljil na naklonu in ukrivljenosti reliefa ter – iz satelitskih posnetkov dobljenem – stanju vegetacije.

Daljinsko zaznavanje, kljub številnim imenitnim lastnostim, ni čudežno orodje, ki bi odpravilo zamudno in naporno arheološko terensko delo. Lahko pa precej zmanjša stroške in hkrati poveča njegovo učinkovitost. Ker so najdišča po izkopavanjih izpostavljena naglemu propadanju, pritisku obiskovalcev in ropanju, je potreba po nedestruktivnih tehnikah izredno velika. Poleg tega daljinsko zaznavanje zaradi enostavnega in sistematičnega pokrivanja velikih površin predstavlja edino orodje, ki omogoča kartiranje, analizo in interpretacijo večjih območij.

*Zahvala: Študije so bile opravljene v okviru projektov arheoloških raziskav na polotoku Jukatano ter uporabe daljinskega zaznavanja in geografskih informacijskih sistemov v antropoloških raziskavah, ki jih je vodil dr. Ivan Šprajc in delno financiralo Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo Republike Slovenije. Pri pripravi vhodnih podatkov za analize so sodelovali Žiga Kokalj, Aleš Marsetič in dr. Tomaž Podobnikar.*

## 6 Viri in literatura

- Adams, R. E. W., Brown, W. E., Culbert T. P. 1981: Radar Mapping, Archeology, and Ancient Maya Land Use. *Science* 213 (4515).
- Conabio, 1995–1996: Fotografías aéreas de la Reserva de la Biósfera de Calakmul, Campeche, escala 1 : 20,000, 1995–1996. Mexico City.
- El-Baz, F. 1997: Space Age Archaeology. *Scientific American* 277 (2).
- Fowler, M. J. F. 2002: Satellite remote sensing and archaeology: a comparative study of satellite imagery of the environs of Figsbury Ring, Wiltshire. *Archaeological Prospection* 9.
- Holcomb, D. W. 1998: Applications of Imaging Radar to Archaeological Research. *Manual of Remote Sensing, Volume 2, Principles and Applications of Imaging Radar*. New York.
- Kvamme, K. L. 2005: Terrestrial Remote Sensing in Archaeology. *Handbook of Archaeological Methods*. Lanham.
- Lira, J., López, P., Rodriguez, A. 2005: Detection of Maya's archaeological sites using high resolution radar images. *International Journal of Remote Sensing* 26 (6).
- Rothaus, R. M., De Morett, A. A. 2001: Landsat TM imagery in landscape archaeology: Detection and modelling. *Remote Sensing in Archaeology*. Firenze.
- Saturno, W. A., Sever, T. L., Irwin, D. E., Howell, B. F. 2006: Regional Scale Landscape Archaeology: 21st Century Remote Sensing Technology and the Ancient Maya. *The Manual of Remote Sensing, 3rd Edition (A Series): Volume 5: Remote Sensing of Human Settlements*. Bethesda.
- Sever, T. L., Irwin, D. E. 2003: Landscape archaeology: Remote-sensing investigation of the ancient Maya in the Peten rainforest of northern Guatemala. *Ancient Mesoamerica*.





## UPORABA GIS V DIALEKTOLOGIJI

**dr. Jožica Škofic**

Inštitut za slovenski jezik Frana Ramovša ZRC SAZU

Novi trg 4, 1000 Ljubljana

guzej@zrc-sazu.si

UDK: 81'282:528.9:659.2

### IZVLEČEK

#### **Uporaba GIS v dialektologiji**

Geolingvistiko kot eno od raziskovalnih smeri dialektologije zanima zemljepisna razširjenost in razporeditev posameznih jezikovnih pojavov. V tem prispevku bodo predstavljene različne metode kartiranja, kot so se ob projektu Slovenski lingvistični atlas razvijale od prve polovice 20. stoletja, ko so nastale prve rokopisne lingvistične karte, do danes. Sodobna prostorska vizualizacija narečnih pojavov temelji na uporabi računalniških orodij za urejanje ustreznih podatkovnih baz, avtomatizirano kartiranje in interaktivni prikaz narečnih fonetičnih, morfoloških, leksičnih idr. jezikovnih pojavov. Ti so lahko prikazani v obliki simbolnih, izoglosnih, ploskovnih in kombiniranih lingvističnih kart, vse pa temeljijo na natančni jezikoslovni analizi narečnega gradiva.

### KLJUČNE BESEDE

dialektologija, geolingvistika, Slovenski lingvistični atlas, geografski informacijski sistem

### ABSTRACT

#### **The use of GIS in dialectology**

Geolinguistics, which is a research area within dialectology, is concerned with the geographical dispersal and arrangement of individual linguistic phenomena. This paper will outline the different cartographical methods that have developed alongside the Atlas of the Slovene Language project from the first half of the 20<sup>th</sup> century, when the first hand-drawn linguistic maps appeared, through to the present day. The modern spatial visualisation of dialectal phenomena uses computer tools for the organisation of suitable databases (e.g. SlovarRed), automated map-making, and the interactive presentation of phonetic, morphological and lexical phenomena in relation to dialects. These can be presented in the form of maps that deploy symbols, isoglosses, planes or combination of these features, all taking as their basis a precise linguistic analysis of dialectal material.

### KEYWORDS

dialectology, geolinguistics, Slovene Linguistic Atlas, geographical information system

## 1 Uvod

Dialektologija je veda, ki raziskuje zemljepisno omejene različice posameznih jezikov, to je narečja in krajevne govore, tako na sinhroni kot diahroni ravni. Razširjenost narečij in njihovo klasifikacijo je mogoče prikazati z narečnimi kartami, vendar lingvistične geografije kot ene od smeri dialektologije ne zanimajo meje med jeziki ali njihovimi pokrajinskimi različicami, ampak prostorska razširjenost in porazdelitev posameznih jezikovnih pojavov znotraj enega ali več jezikov, kar prikaže na jezikovnih kartah oz. v jezikovnih/lingvističnih atlasih. Za geolingvistiko pa kartografski prikaz zemljepisne razporeditve zbranega jezikovnega gradiva ni samo rezultat, temveč predvsem izhodišče za njegovo interpretacijo in nadaljnje raziskovanje jezika.

Lingvistična geografija se je začela razvijati v zadnji tretjini 19. stoletja, ko je bilo z dialektološkimi raziskavami že zbranega toliko narečnega gradiva, da je postalo očitno nesovpadanje meja posameznih jezikovnih pojavov z mejami jezikov in jezikovnih različkov, zaradi česar se je začela oblikovati zavest o postopni prehodnosti namesto ostrih mej med njimi. Prenos (sinhronih) jezikovnih podatkov na zemljevid je namreč pokazal zapleten preplet izoglos (tj. črt, ki zamejujejo obseg oz. razprostranjenost posameznih jezikovnih dejstev), ki v celoti ne sovpadajo, ampak oblikujejo nekakšne izoglosne šope, med katerimi se tako izrisuje »jezikovna pokrajina«, ki je predmet preučevanja lingvistične geografije.

Metoda lingvistične geografije vključuje več stopenj:

- predpriprava: izdelava mreže in vprašalnika, določitev metodičnih in tehničnih načel izdelave (tudi transkripcija, izdelava neme karte, nabora simbolov za kartiranje),
- zbiranje gradiva s pomočjo vprašalnika (ankete) ter fotografij, ilustracij in predmetov na terenu,
- analiza gradiva za posamezni preučevani jezikovni pojav in izdelava legend,
- vnos zbranega gradiva na karte za jezikovni atlas,
- raziskava in vrednotenje gradiva, izdanega na kartah.

*Slovenski lingvistični atlas*, temeljno delo sodobne slovenske nacionalne dialektologije in geolingvistike,\* je zasnoval Fran Ramovš leta 1934, po drugi svetovni vojni pa so se na Inštitutu za slovenski jezik pri SAZU dejansko začele priprave nanj (Kenda-Jež 2000, 196). Mreža SLA zajema 406 krajev, vprašalnica za SLA pa obsega 870 osnovnih vprašanj (s podvprašanji), razdeljenih na 16 razdelkov (pomenskih polj): telo, obleka, hiša, vas, prazniki, orodje, živina, rastline, planina, bolezn, čas, pokrajina, družina, štetja, razno ter gramatična vprašanja – glasoslovje in oblikoslovje (od vprašanja št. 700 dalje). Gradivska zbirka, ki je shranjena v Dialektološki sekciji ISJFR ZRC SAZU v Ljubljani, danes obsega okrog 680 zapisov krajevnih govorov, tj. 884.000 listkov v kartoteki, ki je urejena po vprašanjih, in 390 zvezkov (ter dodatno še 182 zvezkov izven mreže za SLA), kjer je gradivo urejeno po krajih. V zadnjih letih zbirko dopolnjujemo z doslej nezapisanimi govori in jo postopoma urejamo tudi v elektronski obliki (s skeniranjem).

Že v sedemdesetih letih 20. stoletja je na podlagi gradiva za SLA nastalo nekaj razprav T. Logarja in J. Riglerja, v knjižni obliki je doslej izšel uvodni zvezek, tj. *Vodnik po zbirki narečnega gradiva za Slovenski lingvistični atlas* avtorice F. Benedik, do leta 2008 pa naj bi izšel tudi prvi leksični zvezek Slovenskega lingvističnega atlasa za pomensko polje »človek«. Precej poskusnih kart zanj je nastalo že v šestdesetih letih 20. stoletja, okrog štirideset pa jih je bilo v zadnjem desetletju in pol tudi že objavljenih (predvsem leksičnih, nekaj pa tudi glasoslovnih in oblikoslovnih kart).

\* Ob SLA kot temeljnem projektu dialektološke sekcije ISJFR ZRC SAZU njeni sodelavci sodelujejo še v dveh mednarodnih geolingvističnih projektih: v Splošnoсловanskem lingvističnem atlasu (OLA), kjer je slovenski jezik med 835 raziskovalnimi točkami zajet s 25 krajevnimi govori, med njimi je 7 zamejskih, in v Evropskem lingvističnem atlasu (ALE), kjer je med 2631 raziskovalnimi točkami tudi 9 slovenskih krajevnih govorov, med njimi 2 zamejska.

## 2 Metode kartiranja v zgodovini slovenske dialektologije

V nadaljevanju bodo predstavljene različne metode kartiranja, kot so se ob projektu Slovenski lingvistični atlas razvijale od prve polovice 20. stoletja, ko so nastale prve rokopisne lingvistične karte, do danes, ko sodobna prostorska vizualizacija narečnih pojavov temelji na uporabi računalniških orodij za urejanje ustreznih podatkovnih baz ter avtomatizirano kartiranje in interaktivni prikaz jezikovnega gradiva.

### 2.1 Poskusno rokopisno kartiranje narečnega gradiva za SLA

Leta 1959 so v Dialektološki sekciji ISJFR začele nastajati prve poskusne leksične in fonetične karte na podlagi zbranega gradiva za SLA, s katerimi so preverjali zanesljivost zapisov in primernost mreže krajev, ki ni bila sestavljena v obliki enakomerne šahovnice ali satovnice, ampak tako, da bi mogla kar se da popolno prikazati (predvsem glasoslovno) pestrost posameznih krajevnih govorov, s čimer bi bilo mogoče izdelati tudi novo karto slovenskih narečij, ki sta jo leta 1983 izdelala T. Logar in J. Rigler. Na podlagi teh poskusnih kartiranj so v 70-ih letih 20. stol. nastale tudi Riglerjeve jezikovne karte, ki so prikazovale razširjenost nekaterih glasoslovnih pojavov v slovenskih narečjih (npr. Približna skica nedoločnika pri glagolih s pripono *i*, gl. Rigler 1978, 372 oz. Rigler 2001, 344).

Ob nastajanju teh kart se je oblikoval poseben »postopek za izdelavo karte«, ki je predvideval:

- preštevilčenje listkov (listkovna kartoteka je urejena po stari Ramovševi numeraciji, zvezki pa po novi, tako kot tudi nema karta, zato je najprej potrebno staro oštevilčenje pretvoriti v novo);
- izpisovanje celotnega gradiva z listkov in dopolnjevanje z izpisi iz zvezkov;



Slika 1: Poskusna leksično-besedotvorna karta za pomen jelka (avtorica F. Benedik, 1978).

- usklajevanje transkripcije (gradivo za SLA se je zbiralo skoraj šestdeset let, v tem času pa se je večkrat zamenjala tudi narečna transkripcija, zato je pred kartiranjem predvsem fonetičnih vprašanj potrebno poenotenje transkripcije, kar še vedno ni zadovoljivo rešeno);
- priprava seznama vseh različnih leksemov, ki bodo glede na vsebino karte kartirani, in priprava legende h karti;
- poskusno kartiranje.

Kartografske tehnike so bile v tem času lahko različne – podatki so lahko prikazani v obliki simbolnih, izoglosnih, ploskovnih in kombiniranih lingvističnih kart, vse pa temeljijo na natančni jezikoslovni analizi narečnega gradiva.

Med prvimi leksičnimi kartami, nastalimi po gradivu za SLA, je rokopisna karta za 'česen', izdelana na natisnjeni geografski podlogi (z rekami, večjimi mesti in političnimi mejami) s še starim oštevilčenjem točk. Simboli na njej so črno-beli, oblika simbolov ponazarja isti koren, njegova izpolnitev pa različno besedotvorno podobo (pripono). Ker je karta enostavna in pregledna ter brez dubletnih oblik, avtor opozarja na možnost prikaza razporeditve in razširjenosti leksemov s šrafitiranjem oz. izoglosami.

Rokopisna karta za pomen 'jelka' (Benedik 1978, glej Sliko 1) ima precej bolj kompleksno legendo, njen avtor pa v opombi opozarja na primerno izbiro barv simbolov, ki označujejo posamezne korene leksemov (npr. rdeča 'jel-' (*jela, jelka, jelovec*...), modra ali črna 'hoj-' (*hoja, hojka, hojovec, hojica, bela hoja*...), za redki koren 'fuj-' avtor meni, da bi ga bilo mogoče navesti le v opombah in ga ne posebej kartirati, zelena za koren *smrek*- itd.). Obliko simbolov je avtor izbral za ponazoritev slovničnega spola kartiranih leksemov (krog za ženski spol, trikotnik za moškega), njihovo izpolnjenost pa za predstavitev različnih pripon (-*ka* poln krog, -*ica* krog s piko v sredini, -*ovec* trikotnik z izpolnjeno desno polovico itd.). Ploskovna karta (barve!) bi tu lahko prikazala le del obravnavane problematike, s simboli pa je slika različnosti besedotvorne podobe leksemov za to rastlinsko poimenovanje celovitejša.

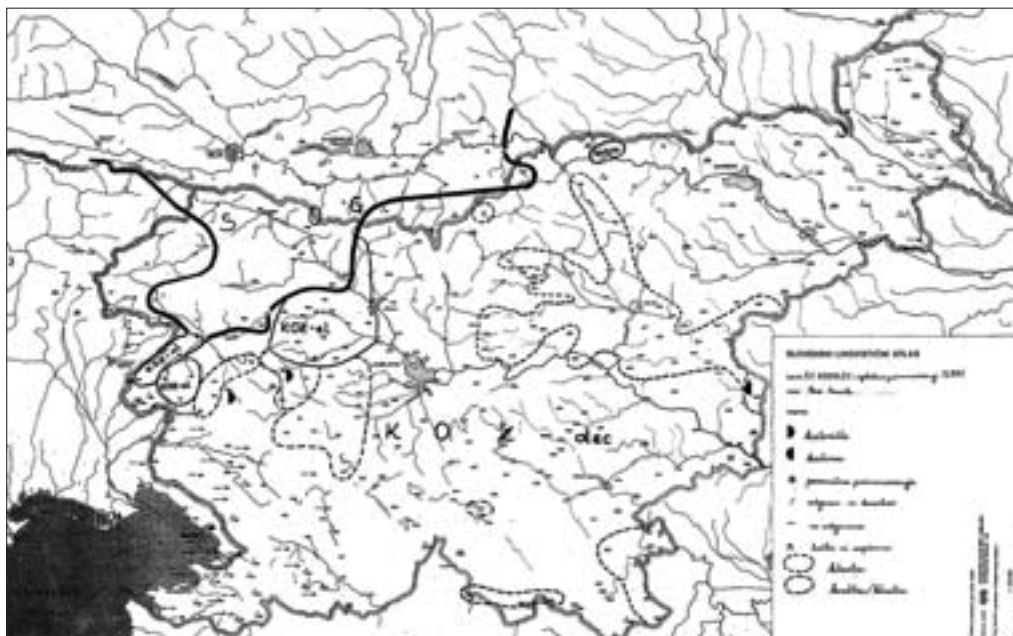
Podobno so kartirali tudi prve pomenske karte, npr. »pomen besede *žito*« (Benedik 1976), kjer različni črno-beli liki pomenijo različne pomene te besede (poln krog – 'žito', trikotnik – 'rž', kvadrat 'proso', pravokotnik 'koruza', prazen krog 'pšenica'). Zanimivost te karte je tudi, da je narejena na osnovi več vprašanj iz vprašalnice (SLA V191 pomen besede *žito*, SLA V192 kako se reče *pšenici*, SLA V193 *rž*, SLA V194 *ječmen*, SLA V195 *proso*, SLA V197 *koruza*), avtor pa na pripeti opombi opozarja na nejasnost dvojnih pomenov te besede v Istri.

Drugačne so poskusne glasoslovne karte. Nekatere so napisno-izoglosne (npr. za *trebuh*, kjer je ob vsaki točki na karti zapisana kar cela beseda), druge samo napisne (npr. razvoj dolgega *jata*, ki je samo približno nakazan z napisi na karti in so konkretni podatki za kraj in tudi besedo z določenim refleksom, že popolnoma abstrahirani). Mnogo natančnejše so seveda simbolne karte, kakršna je npr. karta, ki prikazuje razvoj dolgega cirkumflektiranega *o* v besedi *kost*, kjer ima vsak refleks svoj simbol, večjo razločljivost na karti pa omogočajo različne oblike (krog ali trikotnik) in barve simbolov.

Poskusne rokopisne glasoslovne karte za SLA so tudi kombinirane simbolno-ploskovne; taka je karta, ki prikazuje razvoj dolgega *u* v slovenskih narečjih, kjer je območje z enotnim refleksom *u* označeno s šrafitiranjem, manjša področja z bolj razdrobljenim razvojem pa so prikazana z barvnimi simboli različnih oblik.

## 2.2 Prve objavljene karte za SLA

Rokopisne karte so dialektologom prinesle dovolj geolingvističnih izkušenj, da so konec osemdesetih let 20. stoletja karte za SLA začeli tudi objavljati. Prva je bila l. 1988 objavljena leksična karta s poimenovanji za *cvetnonedeljsko butaro* V. Smole, F. Benedik pa je l. 1990 objavila prvo fonetično karto o refleksih *jata* v besedi *sneg* in leksično karto za poimenovanje *gozda* v slovenskih govorih – vse so imele že novo osnovno karto iz l. 1984 z novo mrežo točk, ki se kasneje ni več spreminjala. Večina kart obeh avtoric, ki so nastajale in bile objavljene v zadnjem desetletju 20. stoletja, so bile simbolne, zara-



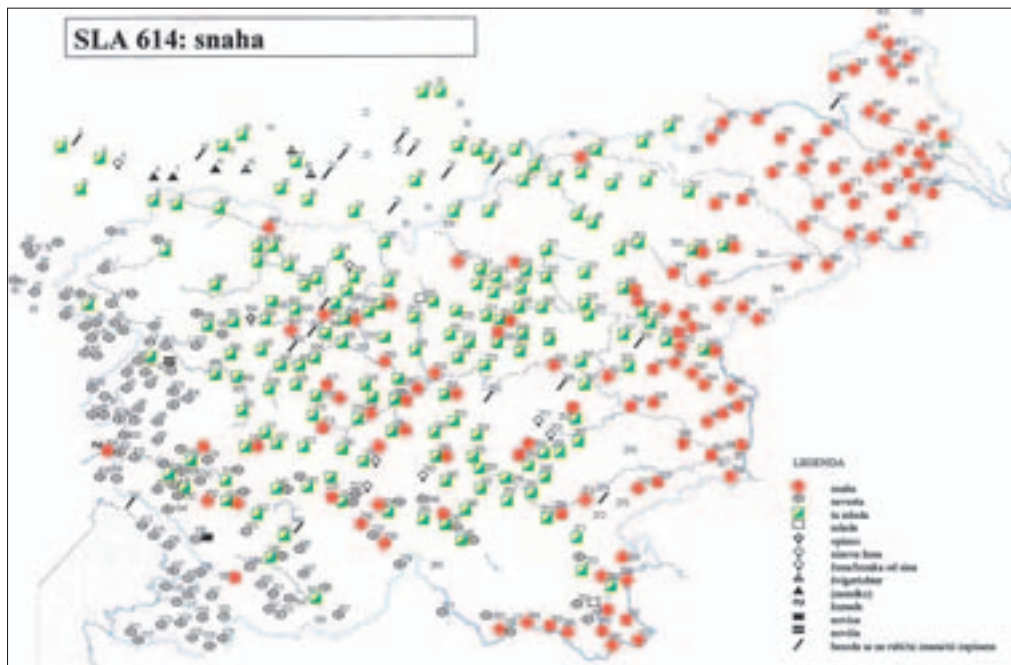
Slika 2: Napisno-izoglosna leksično-besedotvorna karta za pomen kozolec (avtorica V. Smole, 1996).

di enostavnejšega tiska črno-bele. Ob tem se je oblikoval poseben sistem hierarhizacije simbolov, kjer oblika simbola predstavlja koren leksema, njegova notranja izpolnjenost pa besedotvorno podobo. Simboli so lahko opremljeni še z dodatnimi znaki ob sebi, ki pomenijo zgrajenost večbesednega leksema, dogovorjeni posebni simboli pa opozarjajo na indeks ali komentar, priložen posamezni karti.

Razbremenitev karte v smislu nepregostega ponavljanja enakih simbolov pomenijo izoglosne in kombinirane napisno-znakovne karte, kjer različna debelina in opremljenost črt označuje manjša ali večja območja z enakim refleksom ali leksemom, medtem ko so simboli na njih še vedno ohranjeni za razpršena poimenovanja (taka je npr. karta V. Smole za poimenovanja *kozolca* in njegovih delov iz l. 1996, glej sliko 2). Tiskanih ploskovnih/šrafiranih kart zaradi zahtevnosti tiska v teh poskusnih objavah še ni bilo.

### 2.3 Kartografska avtomatizacija

Do leta 2000 so bile karte za SLA risane ročno na tiskano podlago, leta 2001 pa so bile objavljene prve karte, izdelane s pomočjo računalniških orodij – izdelala jih je J. Škofic ob sodelovanju z različnimi, večinoma zunanji sodelavci. V Prostorsko-informacijskem centru ZRC SAZU sta Z. Stančič in T. Podobnikar po predlogi karte za SLA iz Dialektološke sekcije ISJFR ZRC SAZU izdelala poskusno digitalizirano karto z mejami Slovenije, vodovjem, večjimi mesti in oštevilčenimi kraji, ki so zajeti v mrežo SLA, ter njihovimi koordinatami. Podjetje Syncomp je v sodelovanju z dialektologinjo Karmen Kenda-Jež izdelalo nabor osnovnih simbolov, imenovan SLSlovan, ki ga je bilo mogoče uporabiti pri kartiranju tako fonetičnih kot leksičnih kart. Leta 2001 je P. Škofic napisal poskusni program, ki je po pretvorbi Wordove tabele (s številkami krajev iz mreže SLA in kodami pripadajočih kartografskih simbolov) v DOS-datoteko, opremljeno z geografskimi koordinatami točk, in ob kliku na orodje, ki je bil del karte, simbole (lahko tudi barvne) ustrezno razporedil po karti. To je bilo treba še enkrat pregledati, jo urediti (npr. tako da se simboli niso prekrivali) in opremiti z legendo in naslovom ter natisniti v ustreznem formatu. Ker so bili podatki na karto vneseni v več plasteh, jo je bilo potrebno shraniti še



Slika 3: S programom P. Škofica izdelana simbolna leksična karta za pomen snaha (avtorica J. Škofic, 2003, objavljena 2004).

v obliki .rtf in tako je bilo mogoče natisniti kjer koli (glej Sliko 3). Taka kartografija je imela seveda mnogo pomanjkljivosti, a olajšala je vsaj zamudno ročno vnašanje simbolov na karto, omogočala pa je tudi kartografiranje le dela podatkov (npr. le leksemov iz istim korenom), kar je pomenilo tudi več možnosti za različno izrabo vnesenih podatkov.

Medtem so nekateri sodelavci Dialektološke sekcije ISJFR I. 2003 za kartografiranje začeli uporabljati program Corel Draw 8, ki je sicer olajšal vnašanje simbolov iz Syncompove tabele na digitalizirano karto, barvanje simbolov, zamenjavo simbolov zaradi boljše berljivosti karte ipd., vendar pa ni omogočal še drugačnega dela s podatki, ki so ga v tem času že omogočale ustrezno oblikovane podatkovne baze.

Že v tem času načrtovana dialektološka podatkovna baza naj bi predvsem zajemala več podatkov o gradivu (npr. ne le točko zapisa in odgovor na posamezno vprašanje, ampak tudi leto zapisa, zapisovalca, podatke o informatorju – starost, spol, poklic ipd., napotila na bibliografijo o krajevnem govoru, skenirano sliko originalnega zapisa z listka in zvezka, morda tudi posnetek izgovora posamezne besede itd.) ter omogočala natančnejše avtomatizirano kartografiranje (npr. prikazovanje več leksemov – znakov za eno točko in njihova natančnejša razporeditev, prekrivanje/neprekrivanje znakov zaradi gostote mreže v SLA zajetih govorov, oblikovanje izoglosnih in napisnih kart idr.) in analizo narečnega gradiva ter njegovo izrabo tudi za druge raziskave, nenazadnje pa naj bi omogočala sodelovanje tudi z drugimi uporabniki geografskih informacijskih sistemov (geografi, botaniki, etnologi itd.).

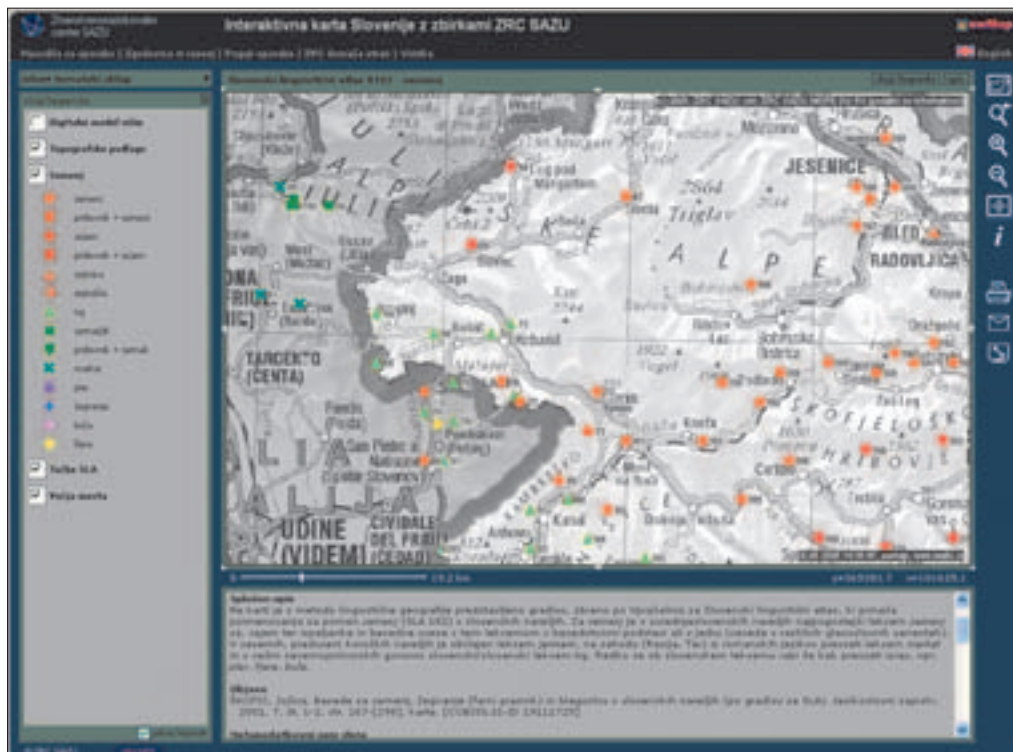
#### 2.4 Priprava podatkovne baze in računalniških orodij za 1. leksični zvezek SLA

O možnosti uporabe GIS v raziskavah slovenskih narečij je prvi pisal Z. Stančič (1996), ko je ob izboljšanju in avtomatizaciji kartografiranja poudaril tudi možnost izrabe GIS za kompleksnejše analitične operacije v dialektologiji in zlasti lingvistični geografiji.

Da bi lahko pripravili primerno podatkovno bazo za SLA in narečno gradivo začeli kartirati in analizirati s pomočjo GIS, je bilo potrebno:

- pripraviti ustrezen nabor znakov za zapis izredno raznolikega narečnega gradiva: Ker nabor posebnih znakov v standardnih računalniških programskih orodjih ni zadosten, so posamezna slovenska dialektološka središča izoblikovala posebne fonte (npr. Brane, Mura), kar je močno oteževalo ne le publiciranje dialektoloških razprav izven lastnih inštitucij, ampak tudi urejanje gradiva za SLA, tj. samo jezikoslovno analizo, saj te pisave niso omogočale različnih iskanj po gradivu, ustreznih abecediranj ipd. Zato je P. Weiss za jezikoslovne potrebe razvil vnašalni sistem ZRCola, ki »deluje v Microsoftovem programu Word v operacijskem sistemu Windows. Temelji na standardu unikod, dodatni znaki pa so v pisavi 00 ZRCola razporejeni na področju zasebne rabe tega standarda.« (Weiss 2004). ZRCola zaenkrat še ne deluje v Excelovem okolju, zato je gradivo še vedno treba najprej izpisati v Wordovo tabelo in jo nato prenesti v Excel;
- pripraviti nabor simbolov za kartografiranje: P. Weiss je l. 2005 v okviru unikodove tabele zasnoval font SIMBola na podlagi simbolov, ki so v rabi pri OLA, ALE in v drugih jezikovnih atlasih. Vsak simbol ima svojo šestnajstiško kodo, ki jo je mogoče vnesti v tabelo podatkovne baze in iz te simbole tudi na karto;
- pripraviti osnovno karto: J. Fridl z GIAM ZRC SAZU je pripravila t. i. nemo karto slovenskega jezikovnega ozemlja (tudi zamejstva) z reliefom, vodami in državnimi mejami ter večjimi mesti, jo vpela v dogovorjeno merilo SLA, ki bo v velikosti formata A3 (1 : 750.000 in 1 : 1.100.000) in jo opremila s kolofonom ter prostori za naslov in legendo karte;
- georeferencirati točke iz mreže za SLA: P. Pehani z IAPŠ ZRC SAZU je s pomočjo podatkovne baze Geodetskega zavoda Slovenije določil položaj točk (tj. njihove geografske koordinate) in številke, ki jih označujejo, postavil na centroide krajev. Predvideti je bilo potrebno položaj simbolov ob točkah, kar je bilo posebno problematično na območjih, kjer so točke na karti bolj nagetene in je v gradivu za posamezno točko več različnih odgovorov – rešitev smo našli v takem zapisu gradiva v tabeli, ki omogoča tudi kartografiranje v »plasteh«, ki se med seboj izključujejo; ustrezna priprava tako neme/osnovne karte kot mreže točk in nato gradiva v podatkovni bazi in povezava med njimi bo zato omogočila tudi bolj avtomatizirano kartografiranje;
- pripraviti digitalizirano karto slovenskih narečij;
- pripraviti t. i. satovnico (oz. Thiessenove poligone) na obstoječo mrežo krajev, tj. določiti območja, ki naj bi pripadala posamezni točki (delo sodelavca IAPŠ T. Podobnikarja). Taka satovnica bo omogočila bolj avtomatizirano oblikovanje ploskovnih in izoglosnih kart ter še drugačne načine prostorske vizualizacije gradiva, zajetega v podatkovni bazi;
- omogočiti virtualni dostop do arhiviranega gradiva za SLA: P. Weiss je s sodelavci zasnoval skeniranje gradiva in njegovo urejanje na skupnem disku, dostopnem z geslom tudi preko interneta in ZRC-jevega strežnika;
- pripraviti podatkovno bazo: T. Seliškar je na osnovi izkušenj pri razvoju programa SlovarRed za urejanje gradiva in pripravo slovarjev v Terminološki sekciji ISJFR ZRC SAZU razvil še posebno različico za dialektološko podatkovno bazo, ki ne bo služila le kartografiranju oz. projektu SLA, ampak tudi nastajanju pokrajinskih in krajevnih narečnih slovarjev (tudi terminološkim in imenoslovnim) in vseslovenskega narečnega slovarja. SlovarRed zajema tako podatke o sodelavcih in njihovem delu, kot o gradivu, ki je zapisano z vnašalnim sistemom ZRCola in opremljeno s podatki o zapisovalcih, informatorjih, kraju in času zapisa ipd., zajema pa (lahko) tudi avdiovizualne posnetke, fotografije in skene rokopisnih zapisov iz listkovne in zvezkovne zbirke za SLA, kar vse bo preko dobro zasnovane podatkovne baze mogoče »pripeti« tudi na interaktivni prikaz kartografiiranega gradiva. Prva karta, kartografiirana iz podatkovne baze SlovarRed, predstavlja lekseme za pomen 'grlo', avtorice J. Škofic, medtem ko je bila na spletni strani ZRC SAZU med njegovimi testnimi interaktivnimi kartami že l. 2004 predstavljena tudi prva poskusna interaktivna karta po gradivu za SLA (še brez podpore programa SlovarRed), in sicer za vprašanje 0182 'semenj' avtorjev J. Škofic in P. Pehanija (glej sliko 4).





Slika 4: Prva objavljena interaktivna simbolna leksična karta za pomen semenj (avtorja J. Škofic in P. Pehani, 2004).

Prvi cilj tako zasnovanega projekta je čimprejšnji izid prvega zvezka Slovenskega lingvističnega atlasa s simbolnimi, izoglosno-ploskovnimi in napisnimi kartami (tako v klasični knjižni obliki kot na zgoščenki oz. medmrežju). Tako podatkovna baza SlovarRed kot z njo povezan GIS pa bosta zagotovo omogočila tudi drugačne analize in predstavitve zbranega narečnega gradiva v narečnih slovarjih in monografijah.

### 3 Sklep

Gradivo za SLA je kljub različnim pomanjkljivostim zelo zanimivo ne le za ozko jezikoslovno obravnavo, ampak tudi za sociolingvistične raziskave in osvetlitev jezikovno-kulturnih stikov in povezav z drugimi, predvsem sosednjimi narodi in njihovimi jeziki. Primerjava geolingvistične predstavitve narečnega gradiva v SLA z že kartiranimi zunajjezikovnimi okoliščinami, v katerih se je slovenski jezik razvijal, namreč omogoča pogled na življenje jezika, kot doslej morda ni bil mogoče. Seveda pa tako raziskovanje jezika zahteva timsko delo različnih strokovnjakov – jezikoslovcev dialektologov in sociolingvistov ter etimologov, geografov, računalniških strokovnjakov, strokovnjakov za prostorske informacijske sisteme ... Tudi kartografski prikaz narečnega gradiva iz Slovenskega lingvističnega atlasa (s pomočjo s pomočjo GIS in SIMBole), ustrezno zapisanega v slovenski narečni transkripciji (z vnašalnim sistemom ZRCola) in urejenega v pravilno strukturirani podatkovni bazi (SlovarRed), kaže, kako plodno je lahko tako sodelovanje.

#### 4 Viri in literatura

- Benedik, F. 1990: Poimenovanje gozda in refleksi č v besedi sneg v slovenskih govorih. *Traditiones* 13, Ljubljana.
- Benedik, F. 1999: Vodnik po zbirki narečnega gradiva za Slovenski lingvistični atlas (SLA). Ljubljana.
- Jakop, T. 2005: Dvojina v slovenskih narečjih. Doktorska disertacija. Filozofska fakulteta v Ljubljani.
- Kenda-Jež, K. 2000: Dialektološke raziskave na Inštitutu za slovenski jezik Frana Ramovša. Zbornik Slavističnega društva Slovenije 10. Slovensko jezikoslovje danes in jutri. Ljubljana.
- Logar, T. Rigler, J. 1983: Karta slovenskih narečij. Ljubljana.
- Ramovš, F. 1935: Historična gramatika slovenskega jezika VII, Dialekti. Ljubljana.
- Rigler, J. 2001: Zbrani spisi I. Jezikovnozgodovinske in dialektološke razprave. Ljubljana.
- Smole, V. 1988: Poimenovanja za cvetnonedeljsko butaro. *Traditiones* 17. Ljubljana.
- Smole, V. 1996: Poimenovanja za kozolec in njegov steber, late in stol v slovenskih narečjih. *Traditiones* 25. Ljubljana.
- Stančič, Z. 1996: Poskus uporabe GIS-a v raziskavah slovenskih narečij. GIS v Sloveniji 1995–1996. Ljubljana.
- Škofic, J. 2001: Besede za semenj, žeganje (farni praznik) in blagoslov v slovenskih narečjih (po gradivu za SLA). *Jezikoslovni zapiski* 7. Ljubljana.
- Škofic, J. 2004: Od narečnega h knjižnemu besedju (po gradivu za Slovenski lingvistični atlas). Aktualizacija jezikovnozvrstne teorije na Slovenskem: členitev jezikovne resničnosti, (Obdobja, Metode in zvrsti, 22). Ljubljana.
- Zupančič, M., Smole, V. 1999: Fitogeografska delitev Slovenije in leksična raznolikost slovenskih narečij. *Traditiones* 28/1. Ljubljana.
- Fran Ramovš's Dialect Map: Medmrežje 1: <http://nl.ijs.si/čstermole/Ramovs/RamovsL2.html> in Medmrežje 2: <http://nl.ijs.si/čstermole/Ramovs/Ramovs-map-legend.gif> (15. 5. 2006).
- Škofic, J., Pehani, P. 2004: Slovenski lingvistični atlas 0182 – semenj. Interaktivna karta Slovenije z zbirkami ZRC SAZU. Medmrežje: <http://gis.zrc-sazu.si/zrctest/> (17. 5. 2006).
- Weiss, P. 2004: ZRCola. Medmrežje: <http://zrcola.zrc-sazu.si/> (15. 5. 2006).



## GIS NA PODROČJU VARSTVA RASTLIN PRED ŠKODLJIVIMI ORGANIZMI

**Matej Knapič**

Kmetijski inštitut Slovenije,  
Hacquetova ulica 17, 1000 Ljubljana  
matej.knapič@kis.si

**Tomaž Seliškar, Stanislav Gomboc in Vlasta Knapič**

Fitosanitarna uprava Republike Slovenije  
Einspilerjeva ulica 6, 1000 Ljubljana  
tomaz.selisakar@siol.net, stane.gomboc@gov.si, vlasta.knapič@gov.si

UDK: 632:659.2:004

### IZVLEČEK

#### **GIS na področju varstva rastlin pred škodljivimi organizmi**

GIS je postal nenadomestljiv način obvladovanja podatkov tudi v informacijskih sistemih s področja varstva rastlin, ki se razvijajo pod okriljem Fitosanitarne uprave RS. Zasnove GIS na tem strokovnem področju so iz leta 2001, ko je projekt CRP »Izgradnja poenotnega sistema za spremljanje in analizo škodljivih organizmov« opredelil podlage za zajem, kontrolo, hranjenje in obdelavo podatkov o škodljivih organizmih rastlin. Leta 2003 je bila razvita uporabniku prijazna aplikacija FITO-nadzor, ki omogoča zajem in prikaz georeferenciranih podatkov za upravljanje varstva rastlin. Te podatke z uporabo ESRI programske opreme ustrezno nadgradimo, tako da predstavljajo osnovno podporo pri strokovnem in upravnem delu. V prispevku predstavljamo pripravo podatkovnih baz in uporabo GIS za potrebe odločanja upravnih služb, raziskovalnega dela in javno uporabo sistema oziroma njegovih podatkov.

### KLJUČNE BESEDE

geografski informacijski sistemi, varstvo rastlin, škodljivi organizmi

### ABSTRACT

#### **GIS in plant health control of harmful organisms**

GIS became irreplaceable manner of data management also in information systems in the field of plant health, developed with the support of Phytosanitary Administration of the Republic of Slovenia. GIS in that technical sector was framed in 2001 with the CRP project »Establishment of unified system for monitoring and analysis of harmful organisms«, which defined gathering, control, keeping and processing of data on organisms, harmful to plants. In 2003, an user-friendly application FITO-nadzor was developed. It enables gathering and review of geo-referenced data for the management of plant health. These data are upgraded using ESRI software in a way, that data represent basic support at expert and management work. Database preparation and usage of GIS for the needs of decision-making for administrative, research and public use are presented in the contribution.

### KEYWORDS

geographical information system, plant health, harmful organisms

## 1 Uvod

Kmetijstvo in gozdarstvo sta za Evropsko skupnost ekonomsko in sociološko pomembni področji, saj geografsko gledano upravljata z okoli 80 % površinami, zaposlujeta okoli 17 milijonov ljudi, izvoz iz obeh sektorjev pa je vreden okoli 50 milijard evrov letno. Izbruhi rastlinskih škodljivih organizmov, ki imajo veliko zmožnost preživetja in razmnoževanja, lahko povzročijo epidemije rastlinskih bolezni in uničujoče prenamnožitve škodljivcev. Epidemične bolezni pa povzročajo resne izgube gojenih rastlin in imajo lahko s tem velik vpliv na gozdarstvo, kmetijsko pridelavo, ekonomijo in ruralno skupnost (Celar in Knapič 2002) kot tudi na biotsko raznovrstnost in okolje. V pridelavi hrane beležijo v svetovnem merilu zaradi bolezni rastlin povprečno 13 %, zaradi napadov žuželk 15 % in zaradi plevelov 13 % izgub pridelkov (FAO 2001). Veliko večje izgube lahko nastanejo z vnosom novega škodljivega organizma z rastlinskim blagom iz drugega kontinenta, če naleti na ugodne klimatske in druge razmere za razmnoževanje in širjenje.

Varstvo rastlin pred škodljivimi organizmi je temeljna dejavnost na fitosanitarnem področju in ga države urejajo v okviru Mednarodne konvencije o varstvu rastlin (Zakon 2000). V Evropski skupnosti uvrščajo varstvo rastlin na direktorat za varstvo potrošnikov in na področje varne hrane. V skladu s konvencijo, direktivo Sveta 2000/29/ES in nacionalnimi predpisi uradne fitosanitarne službe opravljajo nadzor rastlinskega blaga v mednarodnem prometu zaradi preprečitve vnosa karantenskih organizmov na ozemlje države. Hkrati spremljajo domačo pridelavo in samonikle rastline, da čimbolj zgodaj ugotovijo morebiten pojav organizma z visokim tveganjem. Fitosanitarni ukrepi vedno temeljijo na znanstvenih načelih in biologiji organizmov ter na obsegu razširjenosti v državi ali na določenem območju.

Nemalokrat je tudi izvoz rastlinskih pridelkov in lesa odvisen od fitosanitarnega statusa škodljivega organizma v državi: država uvoznica prepove uvoz, če je izvozna država okužena, oziroma če ne dokaže fitosanitarnega statusa organizma, da ni navzoč. Fitosanitarni status lahko pristojni organi določijo na podlagi stalnega spremljanja pojava in širjenja škodljivih rastlinskih organizmov tako, da beležijo njihove najdbe in na okuženih območjih izvedejo ustrezne kurativne, na neokuženih območjih pa ustrezne preventivne ukrepe (Milošević et al. 1980).

Varstvo rastlin je torej tesno povezano s kmetijstvom, gozdarstvom, pa tudi z gospodarstvom ter varstvom narave in okolja. Enako se kaže povezanost z informacijskimi sistemi na teh področjih, tako pri uporabi atributnih kot grafičnih podatkov.

## 2 Metode zapisov najdb škodljivih organizmov

Zapisi najdb in tudi analize tveganja ob vnosu oziroma širjenju škodljivih organizmov vsebujejo podatke o dejanskem ali potencialnem nahajališču v naravi. Nahajališče ali mesto je določeno kot točka ali poligon z dodatnimi atributnimi opisi kot so: vrsta organizma, vrsta gostiteljskih rastlin, rastišče, čas najdbe, ime osebe, ki je opravila pregled oziroma odvzela vzorec za laboratorijsko določitev organizma, in drugi relevantni podatki. V primerih, ko želimo pokazati, kje je bil najden organizem kot tudi, kje smo opravili preglede, pa ga nismo našli, nastane potreba po umeščanju tovrstnih podatkov na zemljevide, s čimer se poveča preglednost in razumljivost podatkov, omogoči analize ter lažje in zanesljivejšo odločanje o ukrepih.

Podatke o najdbah pomembnih organizmov v Sloveniji najdemo v starejši literaturi vezane na katastrske podatke in administrativne enote. Prvi tovrstni zapisi o najdbi trsne uši segajo v čas Avstroogrške monarhije, ohranili pa so jih tudi v navodilih o poročanju in vodenju uradnih evidenc, ki so jih mejni fitopatologi in strokovnjaki za varstvo rastlin v Sloveniji prejeli od zvezne jugoslovanske fitokarantenske oblasti (Odredba 1978; Milošević et al. 1980). Dokler ne bo izdan novi pravilnik o poročanju na podlagi Zakona o zdravstvenem varstvu rastlin (2005) se formalno še vedno uporablja obrazec, ki se sklicuje na zajem katastrskih podatkov pri zapisih (Navodilo 1991). Dejansko pa se od leta 2001 dalje upo-

rabljajo tudi georeferencirani podatki. Zapise smo sprva umeščali v UTM kvadrante in po njih razdeljevali delo terenskimi službam, kasneje pa pričeli uporabljati koordinatni sistem zapisov točk in poligonov.

Želja po učinkovitem delu na področju varstva rastlin je sorazmerno zgodaj pripomogla, da se je začel uvajati geografski informacijski sistem (GIS) tudi na upravni del tega področja. Osrednja strokovno upravna institucija na področju varstva rastlin je Fitosanitarna uprava Republike Slovenije (FURS), ki je prevzela leta 2001 v upravljanje več nepovezanih zbirk podatkov o registrirani pridelavi in najdbah škodljivih organizmov, pri katerih je prihajalo do podvajanja podatkov in obdelav ter do neenotnosti podatkov. Zaradi naštetih slabosti in zahtev po hitri izmenjavi informacij s službami za varstvo rastlin drugih držav ter s Komisijo Evropske unije, je bila že v državnem programu Republike Slovenije za prevzem pravnega reda EU predvidena vzpostavitev poenotenega-integriranega informacijskega sistema za fitosanitarno področje (Knapič et al. 2001).

Prvi začetki uvajanja geoinformacijske tehnologije segajo v konec devetdesetih let. V letu 2001 smo s pomočjo projekta CRP »Izgradnja poenotenega sistema za spremljanje in analizo škodljivih organizmov« opredelili podlage za zajem, kontrolo, hranjenje in obdelavo podatkov o škodljivih organizmih. Sprva, ko ni bilo integralnega pristopa h GIS, je obstajalo veliko podatkovnih baz različnih formatov. Prav tako se je zajem prostorskih koordinat izvajal z različnimi orodji kot sta GPS ali Atlas Slovenije. Format zajema običajno ni bil podan, pojavljale pa so se napake pri nastavitvah GPS aparatov za pretvorbo geografskih koordinat v državni Gauss-Krugerjev koordinatni sistem. Omenjene težave smo želeli premagati s centralno aplikacijo, ki bi omogočala osrednjo evidenco pregledov in pojavnosti škodljivih organizmov. V letu 2003 je aplikacija FITO-nadzor postopno prevzela funkcijo centralnega beleženja terenskih pregledov in pojavnosti (najdb) škodljivih organizmov.

### 3 Geografski informacijski sistem na področju varstva rastlin

Geografski informacijski sistem na področju varstva rastlin (GIS-VR) je sestavni del geografskega informacijskega sistema v kmetijstvu. Njegov razvoj in učinkovitost sta rasla hkrati s razvojem GIS na področju kmetijstva.

V obdobju priprav za vstop v Evropsko skupnost po letu 2000 je bilo izgrajenih več baz podatkov, ki imajo pomembno vlogo pri delovanju GIS na področju varstva rastlin. Pri sprejemanju odločitev je zelo pomembna baza subvencij kmetijske pridelave, ki je vezana na enote rabe in jo vodi Agencija za kmetijske trge in razvoj podeželja (AKTRP). Z njo je tesno povezan register kmetijskih gospodarstev in baza grafičnega zajema rabe kmetijskih zemljišč, ki ga vodi Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP). V tem obdobju so se na MKGP vzpostavile baze trajnih nasadov (vinogradov, sadovnjakov, hmeljišč), na FURS se je vzpostavil FITO-register pridelovalcev, trgovcev in uvoznikov sadilnega materiala in drugega rastlinskega blaga z visokim tveganjem za prenos škodljivih organizmov ter številne ostale evidence, ki imajo bolj specifičen značaj. V tem obdobju je bila tudi končana pretvorba katastrske evidence v digitalno obliko (GURS). Omenjene podlage tvorijo temelj delovanja GIS-VR.

V okviru državnega programa in Twinning projekta z nizozemsko službo za varstvo rastlin je projektna skupina za informacijsko analizo obstoječih sistemov pripravila v letih 2001–2003 osnutke modulov za integrirani informacijski sistem (Van Halteren, 2003). Prepoznala je nujnost podpore s programsko opremo pri izvajanju posebnih nadzorov škodljivih organizmov, ki jih na terenu beležijo pooblaščenih izvajalci fitosanitarnih pregledov (aplikacija FITO-nadzor, nastala 2003) in fitosanitarni inšpektorji (aplikacija FSI-pregled, nastala 2005) ter nujnost povezave z evidenco opravljenih analiz rastlinskih in drugih vzorcev, ki jih delajo pooblaščenih diagnostični laboratoriji za zdravstveno varstvo rastlin. V omenjeni aplikaciji je vgrajen Fito-GIS modul, ki omogoča zajem geografskih podatkov v registre in evidence in različne prostorske prikaze in analize geografsko povezanih podatkov.

### 3.1 Evidenca zdravstvenih pregledov in posebnih nadzorov kmetijskih rastlin

Aplikacija FITO-nadzor (avtor Tomaž Seliškar) predstavlja osnovo za evidentiranje pregledov in pojavov škodljivih organizmov. Aplikacija teče na strežniku MS Windows Server 2003, kot aplikacija odjemalec-strežnik, do katere uporabniki dostopajo po tankem odjemalcu (MS Terminal Server 2003). To omogoča enostaven centralen zajem podatkov in hitro obdelavo in procesiranje podatkov glede na potrebe. Znotraj aplikacije FITO-nadzor so opredeljeni posamezni programi nadzora škodljivih organizmov ter določeni skrbniki posameznega nadzora kot tudi sodelavci, ki sodelujejo v izvajanju programa. V program nadzorov škodljivih organizmov je vključenih več institucij kot so FURS, Kmetijski inštitut Slovenije, Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije, regionalni kmetijski zavodi ter fitosanitarna inšpekcija in pooblaščen laboratoriji, ki izvajajo diagnostiko škodljivih organizmov. Sodelavci posameznega nadzora evidentirajo preglede, ki so jih opravili na terenu, medtem ko je koordinator osrednji skrbnik baze in je dolžan izvajati kontrolo nad stanjem v bazi ter ima vse pravice za popolno urejanje baze določenega nadzora.

Čeprav se na tem mestu ne bomo spuščali v podrobnosti programa FITO-nadzor, je potrebno omeniti nekatere njegove odlike in rešitve. V program so vključene različne georeferencirane rastrske podloge (DOF, tematski in pregledni zemljevidi), ki omogočajo prvo kontrolo prostorske opredelitve posameznega pregleda ali pojava škodljivega organizma. Ta funkcija omogoča tudi izris trenutnega stanja nadzora določenega škodljivega organizma. Poleg tega v aplikacijo sproti dodajamo lastne tematske sloje (npr. različni status območij pri nadzoru določenega škodljivega organizma), kar omogoča boljšo kontrolo in načrtovanje dela.

Zaradi zapletov s točnostjo koordinat v preteklosti, je v program vključena funkcija za preračun koordinat iz različnih koordinatnih sistemov.

Za lažje in natančnejše delo so pri evidentiranju pregledov v aplikaciji vključeni podatki registra prostorskih enot ter podatki digitalnega katastra Slovenije. V primeru, da se koordinate pregleda ne pridobijo s pomočjo GPS, je programska rešitev takšna, da se bodisi iz ene ali druge baze avtomatsko prenesejo koordinate centroidov parcel oziroma hišnih števil.

Podatki evidenc programa FITO-nadzor, v katerega se prepisejo tudi podatki aplikacije FSI-pregled, so eden temeljnih slojev GIS-VR. Imajo velik pomen za prostorsko predstavitev izvajanja nadzorov in stanja posameznega škodljivega organizma. Podatke o izvajanju nadzora nad škodljivimi organizmi izvozimo v ArcGIS (ESRI), jih ustrezno obdelamo in jih predstavimo na ustreznih tematskih kartah. Ti podatki nam hkrati služijo pri različnih prostorskih obdelavah, predvsem pri določanju območij z različnim režimom ukrepov ob preprečevanju širjenja škodljivih organizmov.

### 3.2 Analize za pravilne strokovno upravne odločitve v okolju GIS

FURS si v sodelovanju s strokovnimi in inšpekcijskimi službami pomaga pri analizah tveganja zaradi vnosa in širjenja škodljivih organizmov in pri posredovanju podatkov organom upravljanja v Evropski skupnosti in drugih državah članicah s kartiranjem in analiziranjem podatkov s pomočjo ustreznega računalniškega orodja in GIS-VR. Polega tega je potrebno nacionalne strokovne odločitve pri obvladovanju določenega škodljivega organizma podkrepiti z ustreznimi analizami v okolju GIS. Omenjene zahteve rešuje GIS-VR na različnih ravneh, kar razlagamo z nekaj vzorčnimi primeri:

1. koruzni hrošč (*Diabrotica virgifera virgifera*)
2. rumena krompirjeva ogorčica (*Globodera rostochiensis* (Woll., 1923) Behrens, 1975)
3. hmeljeva uvelost, ki jo povzročata glivi *Verticillium albo-atrum* Reinke at Berthold in *Verticillium dahliae* Klebahn

Koruzni hrošč je karantenski škodljivec koruze, ki se v enem letu lahko razširi tudi za več 10 km. Prvi izbruh v Evropi so bili v bližini letališč. K nam se širi iz beograjskega žarišča, prvič smo ga v monitoringu zaznali na meji z Madžarsko in Hrvaško leta 2003, v naslednjih dveh letih pa se je razširil za



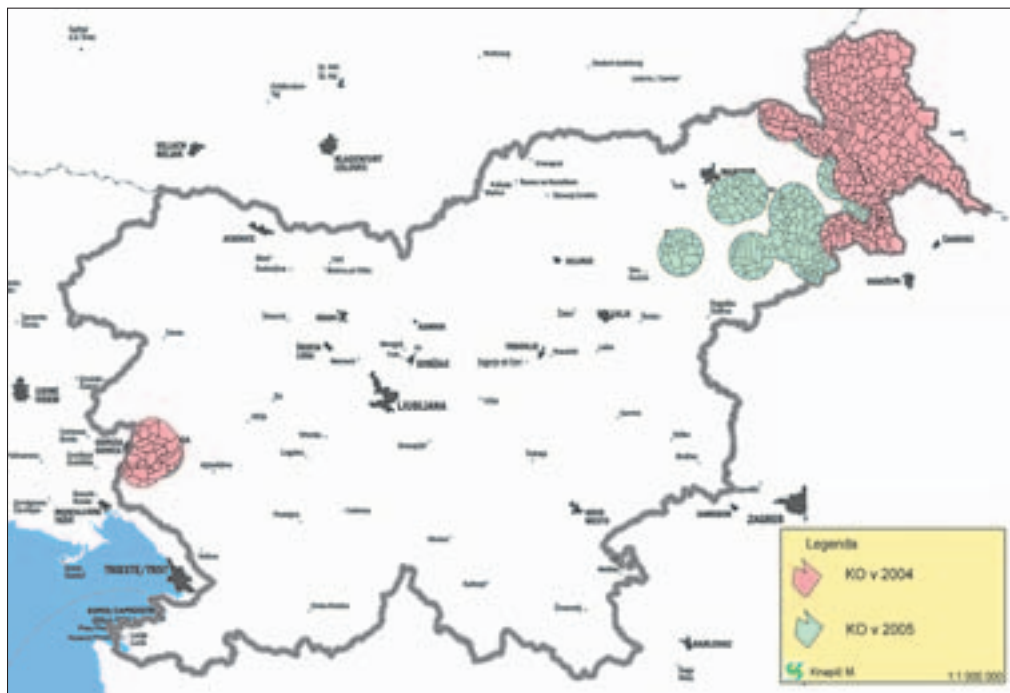
Slika 1: Razmejeno območje koruznega hrošča v SV Sloveniji s prikazom sledenja koruze na isti enoti rabe v letih 2004/2005.

50–70 km proti notranjosti Slovenije. Iz najdišča na Primorskem se od leta 2003 ni širil. Odločba Evropske komisije 2003/766 predpisuje ob ulovu razmejitev žarišča napada, ki je območje okoli potrjene točke najdbe, s polmerom najmanj 1 km in varnostno območje, ki je pas med najmanj 1 km in 6 km od potrjene točke najdbe, ki obdaja žarišče napada. Predstojnik FURS z odločbo določi razmejeno območje, ki obsega žarišče napada in pripadajoče varnostno območje, in določi obvezne ukrepe za preprečevanje širjenja. Glavni ukrep je zatiranje hrošča z insekticidi ali pa obvezen kolobar (enoletni presedelek med dvema posevkoma koruze), da ličinke, ki se izležejo po prezimitvi v tleh, ne najdejo hrane (korusu) in naravno odmrejo. Pri tehtanju posledic strokovnih odločitev smo uporabili prostorske analize. Analizirali smo bazo podatkov o subvencioniranju kmetijske pridelave ter določili, kolikšno je število nosilcev kmetijske pridelave na posameznem območju, kakšen je obseg njihove pridelave in s tem, kakšne posledice nosi posamezen ukrep za preprečevanje širjenja koruznega hrošča.

Naslednji ilustrativni primer uporabe prostorskih analiz je določitev obsega manj primernega kolobarja koruze (prav tako iz baze AKTRP) na nadzorovanem območju. Kasneje smo rezultate te analize uporabili tudi pri postavljanju feromonskih vab za lovljenje koruznega hrošča. Pri izdajanju odredb o določitvi in obsegu nadzorovanega (razmejenega) območja je potrebno rezultate obdelav prilagoditi na administrativne meje, v našem primeru na meje katastrskih občin. Pri tem smo upoštevali vodilo, da se določena katastrska občina uvrsti med nadzorovano območje, če nadzorovano območje določeno iz žarišč, prekriva več kot 50 % njene površine.

Na pridelavo krompirja so v Sloveniji v zadnjih letih močno vplivale specifične družbeno ekonomske razmere ter številni abiotiski in biotski dejavniki. V letu 1999 smo v sklopu vsakoletnega zdravstvenega pregleda njiv na območju Libelici na Koroškem prvič po letu 1975, ko je bila najdena ena cista, naleteli na izredno nevarne rumene krompirjeve ogorčice, ki imajo status karantenskega organizma, za kate-





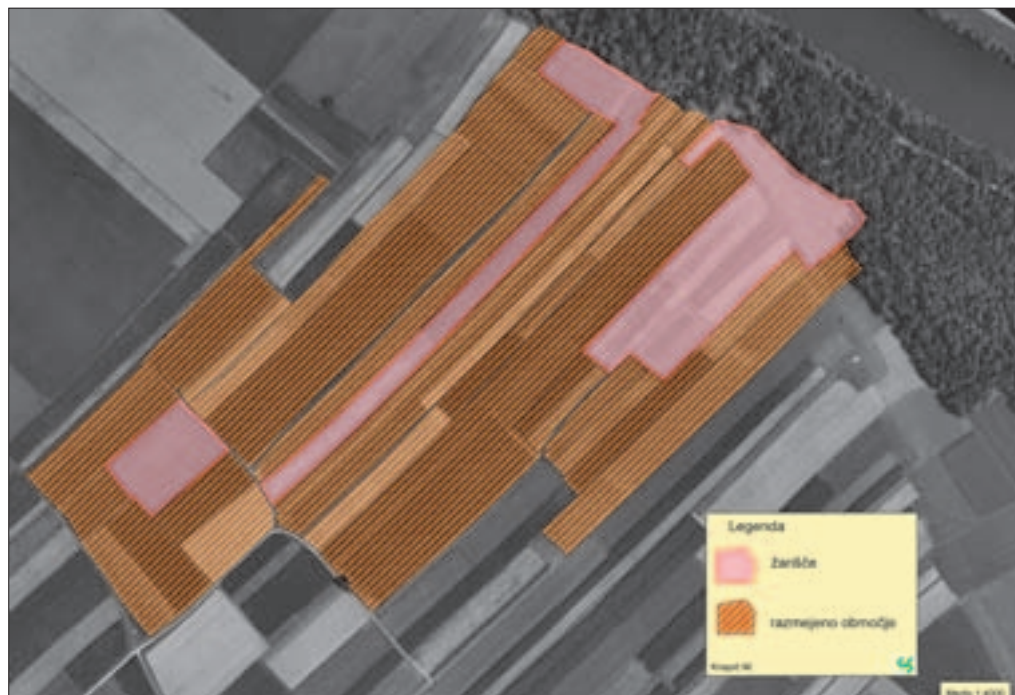
Slika 2: Razmejeno območje koruznega hrošča – usklajeno na meje katastrskih občin.

rega so predpisani ukrepi z evropsko direktivo. Najdba na območju pridelave semenskega krompirja vodi v zelo stroge ukrepe prepovedi pridelave v žarišču. Ker se ogorčice prenašajo skupaj z zemljo, je bila prepovedana vsakršna obdelava tal tudi na sosednjih zemljiščih. S temi ukrepi nameravamo preprečiti razširitev obravnavanega škodljivca na druga pridelovalna območja krompirja v Sloveniji. V tem primeru smo razmejena območja prilagajali mejam njivskih površin – uporaba DOF in DKN, medtem ko smo v letu 2006 že uporabili bazo GERK – grafična enota rabe kmetijskih zemljišč pri MKGP (slika 3).

Blaga oblika hmeljeve uvelosti je bila v Sloveniji prvič ugotovljena leta 1974, medtem ko smo letalno obliko te bolezni prvič odkrili leta 1997 tik pred obiranjem hmelja. V letih 1998 in 1999 smo v okviru posebnega nadzora odkrili na dokaj majhnem območju približno 32 ha okuženih hmeljišč, medtem ko smo v letu 2000 dodatno zabeležili še okrog 65 ha okuženih hmeljišč na štirih novih območjih. V okuženih hmeljiščih je potrebno uničiti in odstraniti okužene rastline, kadar pa se uniči celo hmeljišče, je ponovna zasaditev dovoljena šele po štirih letih. Poleg možnega prenosa glive hmeljeve uvelosti s sadilnim materialom, se gliva lahko prav tako prenaša z zemljo, zato se zaradi hmeljeve uvelosti štejejo za ogrožena območja:

- hmeljišča in
- zemljišča, ki neposredno mejijo na hmeljišča ter
- zemljišča, ki jih obdeluje imetnik hmeljišč.

Iz registrov MKGP se v primeru najdbe poišče ogrožena območja in se jih razmeji. Ker okužba ostane v tleh več let, je potrebno voditi evidenco o zgodovini najdb. Razmejitev območij je pomembna tudi zaradi manipulacije s sadilnim materialom, saj predpis o preprečevanju in omejevanju širjenja hmeljeve uvelosti prepoveduje nabiranje sadilnega materiala v matičnih hmeljiščih, ki ležijo v 250 metrskem območju žarišča. Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije ureja bazo matičnih hmeljišč. V bazi matičnih hmeljišč so navedene parcelne številke in katastrska občina, kar omogoča prostorsko umesti-



Slika 3: Določanje žarišč in razmejenega območja pri nadzoru rumene krompirjeve ogorčice z uporabo DOF, DKN in GERK.

tev in sprotno preverjanje veljavnega registra matičnih hmeljišč. Tudi v tem primeru je v letu 2006 že mogoče uporabiti bazo GERK.

### 3.3 Informacijska struktura sistema

V začetku implementacije GIS-VR smo v pretežni meri izkoriščali strojne in programske kapacitete, ki so bile locirane na organizacijah, ki so vključene v sistem varstva rastlin. V letu 2003 smo pripravili vsebine PHARE projekta (Phare projekt 2003) za izboljšanje stanja informatizacije službe za varstvo rastlin in ga uspešno realizirali v letu 2005. V sklopu projekta so FURS in organizacije, vključene v sistem varstva rastlin, dobili večje število strežnikov, osebnih računalnikov ter ustrezno število GPS enot proizvajalca Leica. Hkrati smo pridobili tudi ustrezno programsko opremo, med ostalimi Arc-GIS desktop 9.1 z več licencami za ArcEditor ter eno za ArcInfo in ArcSDE.

Obseg prostorskih podatkov se je močno povečal, hkrati pa tudi potreba po centralnem hranjenju in vzdrževanju podatkov. Na strežniku so shranjeni pomembnejši rastrski podatki ter večje vektorske baze kot je DKN in podobno. Hkrati pa so ustrezno dodane teme s področja obvladovanja škodljivih organizmov. Z vključitvijo strežnika ArcSDE in programske opreme ArcGIS v GIS-VR sta se povečala preglednost ter upravljanje prostorskih podatkov, kar je posledica večje vpetosti metapodatkov v prostorske baze podatkov, ki jo zagotavljajo novejša različice ESRI programske opreme. Strežnik podatkov ArcSDE omogoča lažje in ažurno vključevanje tematskih podatkov v ostale aplikacije kot sta FITO-Nadzor in FSI-pregled.

Z realizacijo Phare projekta se je arhitektura informacijskega sistema nekoliko centralizirala, kar prej ni bilo mogoče zaradi slabših infrastrukturnih kapacitet.



Slika 4: Prostorski in časovni prerez okužb z glivo hmeljeve uvelosti.

## 4 Sklep

Fitosanitarno področje je izrazito mednarodno vpeto v tokove globalne trgovine z rastlinskim blagom in v globalno ocenjevanje tveganja (PRA) za raznos škodljivih organizmov s trgovskimi potmi. Na podlagi posebnega sanitarno-fitosanitarnega sporazuma v okviru Svetovne trgovinske organizacije (WTO) lahko zaustavi uvoz ali izvoz ladijskih, letalskih in drugih pošiljk, da prepreči vnos škodljivega organizma na svoje ozemlje. Za tak korak mora imeti upravni organ močne in transparentne dokaze, da določen organizem ni zastopan, da je obseg gojenja gostiteljskih rastlin gospodarsko pomemben in ukrep zavrnitve pošiljke upraviči stroške pošiljatelja. Vsako leto se pri WTO odvija več deset poravnanih sporov, pri katerih so rezultati analiz v okolju GIS dober argument za odločitve. Tudi v Sloveniji je FURS v zadnjih petih letih s pridom uporabljal GIS-VR pri pogajanjih z Evropsko komisijo, dokazovanju statusa varovanega območja hruševega ožiga in bele krompirjeve ogorčice, pri obveščanju javnosti in pri kreiranju politike varstva rastlin, ki jo vodi MKGP. Analize in procesiranje georeferenciranih podatkov pa so tudi neprecenljiva podlaga odločanju na nacionalni ravni, pri nadzoru in izvajanju ukrepov v primeru pojava nadzorovanih škodljivih organizmov.

## 5 Viri in literatura

Baker, R. 2001: Vloga geografskega informacijskega sistema (GIS) pri analizah tveganja zaradi vnosa in širjenja škodljivih organizmov. Izvlečki referatov. Društvo za varstvo rastlin Slovenije. Ljubljana.

- Celar, F., Knapič, V. 2002: Rastlinske kužne bolezni. Nesreče in varstvo pred njimi. Ljubljana: Uprava RS za zaščito in reševanje Ministrstva za obrambo, str. 365–371.
- FAO 2001: The state of food and agriculture: economic impacts of transboundary plant pests and animal diseases. Food and Agriculture organization of the United Nations, str. 199–276.
- Knapič, V., Maček, J., Urek, G., Markelj, M., Lozej, M. 2001: Informatizacija varstva rastlin – izziv ali nuja? Zbornik predavanj in referatov 5. slovenskega posvetovanja o varstvu rastlin v Čatežu ob Savi od 6. do 8. marca 2001, str. 28–35.
- Knapič, M. 2002: Uporaba geografskega informacijskega sistema pri izvajanju odredbe o ukrepih za preprečevanja širjenja in zatiranja hmeljeve uvelosti *Verticillium Spp.* Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije: Izvlečki prispevkov: 40. seminar o hmeljarstvu, Portorož, 14. in 15. februar 2002, Slovenija, s. 12–13
- Milošević, B., Kišpatić, J., Maceljki, M. 1980: Priručnik o karantenskim biljnim bolestim i štetočinama SFR Jugoslavije. Fakultet poljoprivrednih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Institut za zaščito bilja. Zagreb.
- Navodilo o objavljanju podatkov o pojavu in razširjenosti na novo odkritih karantenskih rastlinskih bolezni in škodljivcev. Uradni list SFRJ, št. 40/91.
- Odredba o območjih, ki so okužena s karantenskimi boleznimi in škodljivci. Uradni list SFRJ, št. 67/78
- Phare Project SI03.01.01. Upgrading of Information System within IACS and Phytosanitary and Veterinary Information system. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano Republike Slovenije. Ljubljana.
- Urek, G. 2001: Ogroženost pridelave semenskega krompirja zaradi rumene krompirjeve ogorčice, *Globodera rostochiensis* (Woll., 1923) Behrens, 1975 v Sloveniji. Zbornik predavanj in referatov 5. slovenskega posvetovanja o varstvu rastlin v Čatežu ob Savi od 6. do 8. marca 2001.
- Van Halteren, P. 2003: Final report – Phare Twinning project SL99/IB-AG-02 – Improvement of Phytosanitary Control. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano Republike Slovenije. Ljubljana.
- Zakon o ratifikaciji Konvencije o varstvu rastlin (spremenjene). Uradni list RS, št. 84/2000-Mednarodne pogodbe 23/2000.
- Zakon o zdravstvenem varstvu rastlin (ZZVR-1-UPB1, Uradni list RS, št. 23/2005)



## UPORABA GIS-A PRI RAZMEJEVANJU ŠKODLJIVIH ORGANIZMOV NA PRIMERU HRUŠEVEGA OŽIGA

**Primož Pajk, Vlasta Knapič in Stanislav Gomboc**

Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano

Fitosanitarna uprava Republike Slovenije

Einspilerjeva ulica 6, 1000 Ljubljana

primoz.pajk@gov.si, vlasta.knopic@gov.si, stane.gomboc@gov.si

**Matej Knapič**

Kmetijski inštitut Slovenije

Hacquetova ulica 17, 1000 Ljubljana

matej.knopic@kis.si

**Tomaž Seliškar**

Biotehniška fakulteta, Inštitut za fitomedicino

Jamnikarjeva ulica 101, 1000 Ljubljana

tomaz.seliskar@bf.uni-lj.si,

UDK: 632:659.2:004

### IZVLEČEK

#### **Uporaba GIS-a pri razmejevanju škodljivih organizmov na primeru hruševega ožiga**

Posebni nadzor bakterije hruševega ožiga se izvaja od leta 1998, s spremljanjem zdravstvenega stanja gostiteljskih rastlin in z geografskim opredeljevanjem točk tovrstnega nadzora. Razmejitve okužb gostiteljskih rastlin v prostoru so prikazane na kartah in so podlaga za uradne ukrepe v predpisih in odločbah od leta 2001 dalje. Ob izbruhu bakterije v letu 2003 je bilo potrebno zaradi hitre obdelave podatkov o tem karantenskem organizmu pristopiti k sprotni prostorski obdelavi zbranih podatkov z orodji GIS. Območja so razmejena s pomočjo podatkov prostorskih enot, centralnih registrov in registrov MKGP. Za zagotovitev nadzora in upravljanja izbruhov hruševega ožiga je bila v letu 2003 zasnovana aplikacija FITO-nadzor.

### KLJUČNE BESEDE

GIS, območja nadzora, *Erwinia amylovora*, fitosanitarni ukrepi, prostorski podatki

### ABSTRACT

#### **Management with GIS tools in order to delineate harmful organisms, on the example of *Erwinia amylovora***

Special control of *Erwinia amylovora* in Slovenia has been carried out as from 1998 on the basis of spatially located monitoring points. Spatial delimitations of infection of host plants have been indicated on maps and since 2001 represent the basis for carrying out official measures in national legislation and decisions. Because of quarantine status of this harmful organisms, an outbreak of bacteria in 2003 accelerated the use of GIS tools for spatially handling of collected data. Delimitation of areas is based on spatial data, central registers and registries maintained by the Ministry of agriculture, forestry and food. To ensure control and management of outbreaks the application FITO-nadzor was built in 2003.

### KEYWORDS

GIS, controlled areas, *Erwinia amylovora*, phytosanitary measures, spatial data

## 1 Uvod

Fitosanitarna uprava Republike Slovenije (FURS) opravlja upravne, strokovne in nadzorne naloge na področjih priprave in izvajanja predpisov, ki urejajo zdravstveno varstvo rastlin, semenski material kmetijskih rastlin, varstvo in registracijo sort rastlin, fitofarmacevtska sredstva in mineralna gnojila. Na področju zdravstvenega varstva rastlin vodi postopke registracije in izdaje dovoljenj in zagotavlja uresničevanje ukrepov in obveznosti v zvezi s preprečevanjem vnosa in širjenja ter zatiranjem škodljivih organizmov na rastlinah, rastlinskih proizvodih in nadzorovanih predmetih ter opazovanje in napovedovanje škodljivih organizmov.

FURS v sodelovanju s strokovnimi in inšpekcijskimi službami vzpostavlja in vodi informacijske sisteme na področju varstva rastlin, vzdržuje zbirke podatkov in z njihovo pomočjo izpolnjuje mednarodne obveznosti poročanja o pojavu rastlinskih škodljivih organizmov.

Poseben nadzor hruševega ožiga izvajamo v Sloveniji od leta 1998. V letu 2001 smo beležili prvi pojav hruševega ožiga v Sloveniji (EPPO 2001, Šabec-Paradiž et al. 2002), leta 2003 pa prvi večji izbruh bakterije (Knapič et al. 2004). Že v letu 2001 so bile okužbe prostorsko locirane, izrisane na kartah in kot take podlaga za izvajanje uradnih ukrepov v nacionalnih predpisih (Odločba 2002). Ob izbruhu bakterije v letu 2003 je bil potreben sistematičen pristop k prostorski obdelavi zbranih podatkov z orodji GIS, s pomočjo katerih so bila določena žarišča okužbe in varovalni pasovi, ki so opredeljena z mednarodnimi standardi (FAO-IPPC, EPPO), predpisi Evropske skupnosti in nacionalnimi predpisi.

## 2 Metodologija

### 2.1 Potreba po lociranju hruševega ožiga s pomočjo geografskih aplikacij

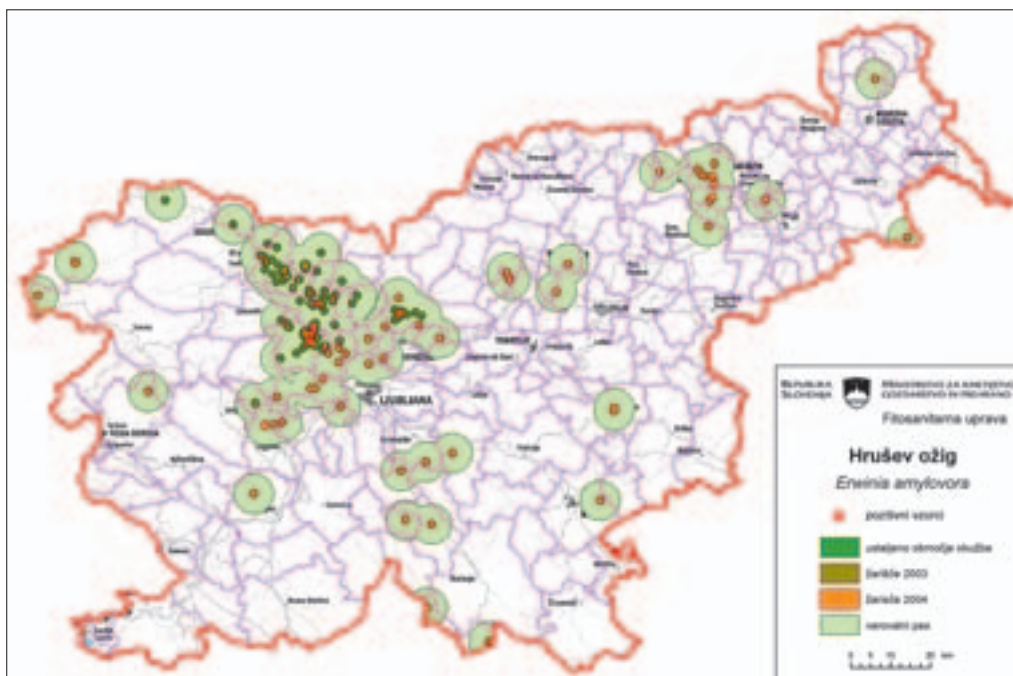
Glede na možne poti vnosa bakterije je bila v letu 1998 postavljena mreža opazovalnih točk, s katerimi bi čim bolj enakomerno pokrili Slovenijo. Medsebojna oddaljenost točk je bila 5–10 km, izbrane pa so bile tam, kjer je bilo na enem mestu več gostiteljskih rastlin ene vrste ali več gostiteljskih rastlin različnih vrst. Opazovalne točke so bile opisane tudi s koordinatami. Zajem prostorskih koordinat je potekal s pomočjo digitalnega Atlasa Slovenije. Kmetijski inštitut Slovenije kot osrednja strokovna institucija za terenske preglede rastlinskih bolezni je zajemal podatke s pomočjo GPS. Zaradi različnih sistemov in formatov zajema je prihajalo do težav pri obdelavi geolociranih podatkov in izrisu kart. Zaradi približevanja bolezni se je vsako leto povečevalo število opazovalnih točk in tudi število rastlinskih vzorcev, ki so jih inšpektorji in pregledniki odvzeli zaradi sumljivih bolezenskih znamenj.

Pregledi zdravstvenega stanja gostiteljskih rastlin so se zgostili okoli območja prve najdbe v Naklem in okolici v letu 2001. Na podlagi biologije bakterije je bilo prvič v praksi fitosanitarnih predpisov v Sloveniji predpisano okuženo območje, ki je obsegalo žarišči okužbe v k. o. Naklo parc. št. 165/2 in 29/17 in varovalni pas, ki je obsegal 1 km široko vplivno območje kot žarišče okužbe. Znotraj tega pasu je možnost raznosa bakterije npr. z vodo, vetrom in žuželkami zelo velika. Ker bakterija zlahka okužuje cvetoče gostiteljske rastline, te pa oprasa čebele, so čebele ene najbolj pogostih prenašalcev bakterije iz okuženih cvetov. Ker lahko čebele letijo na pašo od 3 do 5 km, je bilo določeno prvo varnostno območje okoli žarišča za nadzor panjev in rastlin (pas med 1 km in 5 km od mesta najdbe), za povečan obseg pregledov pa je bilo določeno še drugo varnostno območje (pas med 5 km in 10 km od mesta najdbe).

Koordinate mesta najdb okuženih dreves so bile določene s centroidoma parcel, kar ni bilo najbolj natančno, vendar je za potrebe razmejitve območij poostrelega nadzora zadoščalo. Na sliki 1 je razmejitev prvega žarišča hruševega ožiga v Naklem pri Kranju s središčem na mestu najdbe okužene hruške: v polmeru 1 km so bile pregledane vse gostiteljske rastline, odvzeto je bilo več deset vzorcev za laboratorijsko testiranje, okužba pa je bila potrjena še na dveh drevesih v žarišču. Formalno vsaka nova okužba



Slika 1: Razmejitev žarišča prve okužbe hruševega ožiga v Naklem pri Kranju v letu 2001.



Slika 2: Žarišča okužbe z varovalnimi pasovi v letu 2003 in 2004.



predstavlja novo točko okužbe z novim kilometriskim krogom razmejitev; pri gostejši okužbi se žarišča in varnostni pasovi prekrivajo in združujejo, kar se je leta 2003 v Škofji Loki tudi primerilo.

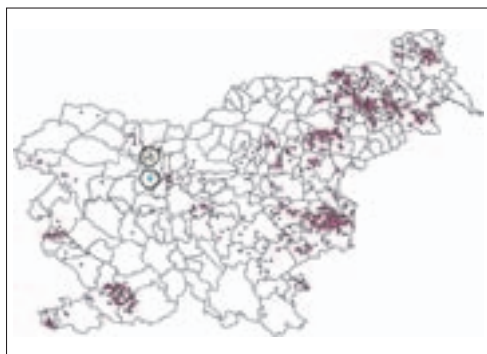
Medtem ko je slika 1 nastala po končanem terenskem in laboratorijskem delu za namene poročanja in prikazovanja stanja, pa smo ob večjem izbruhu leta 2003 bili primorani v sprotno obdelavo in analizo podatkov s pomočjo GIS orodja Arc View 3.2 za sprotno določanje razmejitev žarišč in varnostnih pasov, na podlagi katerih se je usmerjalo terensko delo. Hkrati je nastala potreba po sprotnem zajemu terenskih podatkov različnih izvajalcev (inšpektorjev, kmetijskih in gozdarskih strokovnjakov) v skupno bazo. S pomočjo *ad hoc* pripravljene aplikacije FITO-nadzor je bilo omogočeno vodenje evidence o vseh terenskih pregledih in vzorčenjih, zajem koordinat bodisi z digitalnih kart bodisi z evidence hišnih števil in pretvorbo geografskih koordinat v državni Gauss-Kruegerjev koordinatni sistem. Podatke najdišč okužbe smo prenesli in obdelali v okolju GIS Arc View 3.2, kjer so bila opredeljena tudi razmejena območja, 36 kart razmejenih območij nadzora pa je bilo objavljenih v 23 odločbah FURS-a o razmejitvi okužbe in fitosanitarnih ukrepih.

Leta 2003 je bilo v Sloveniji skupaj ugotovljenih 144 žarišč okužbe. Na ožjem območju Gorenjske je bilo potrjenih 111 žarišč, v ostali Sloveniji pa 23 žarišč (Knapič et al. 2004). Zaradi problematike bolezni, ki povzroča težave zlasti v sadjarski pridelavi jablan in hrušk, je bilo potrebno pripraviti predpis o fitosanitarnih ukrepih na okuženih (slika 2) in neokuženih območjih. Z geografskimi analizami smo proučili umestitev žarišč in lokacije intenzivnih sadovnjakov in drevesnic, ki smo jih poimenovali ogrožena območja. Pri analizi smo uporabili podatke prostorskih enot, centralnih registrov in registrov, ki se vodijo na podlagi zakona o kmetijstvu (UL RS, št. 54/00, 16/04 in 45/04) na Ministrstvu za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano ter zakona o zdravstvenem varstvu rastlin (UL RS, št. 23/05).

Ugotovili smo, da bi zaradi širjenja okužb največja gospodarska škoda nastala v vzhodni in južni Sloveniji, kjer je gostota sadjarske pridelave največja (več kot 2000 ha sadovnjakov). Na Gorenjskem, kjer je bila gostota okužb največja, pa je 40 ha sadovnjakov. To je vodilo k odločitvi, da najbolj okužene gorenjske občine izvzamemo iz varovanega območja, saj izkoreninjenje ni več mogoče, vložek fitosanitarnega nadzora pa bi bil previsok glede na ekonomski učinek pridelave.

Zaradi lažjega upravljanja smo ogrožena območja vezali na občine, ki na lokalni ravni upravljajo s kmetijskim proračunom in vodijo politiko urejanja krajine, kamor sodi tudi zasajevanje parkov, brežin in drugih javnih površin z okrasnimi gostiteljskimi rastlinami. Kriterij za določitev ogrožene občine je bil, da imajo več kot 10 ha sadovnjakov in drevesnic (slika 3), pri čemer se za sadovnjak šteje zasadev sadnih dreves, večja od 0,25 ha. Analiza zgoraj navedenih baz podatkov MKGP in prostorska analiza sta privedli k razumni politiki varstva rastlin pred hruševim ožigom, ki je predpisan s pravilnikom o ukrepih za preprečevanje širjenja in zatiranje hruševega ožiga (UL RS, št. 18/04, 44/04 in 21/05).

Poseben nadzor se je nadaljeval tudi v letih 2004 in 2005, v okviru katerega so bila ugotovljena nova žarišča, ki so bila temu ustrezno tudi kartografsko obdelana. Kot okuženo območje sta bila potrjena večji del Gorenjske in okolica Maribora, kar je bila tudi podlaga za podaljšanje statusa varovanega



*Slika 3: Intenzivni nasadi jablan in hrušk, ki znotraj občin predstavljajo ogrožena območja, kjer bi hrušev ožig povzročil večjo gospodarsko škodo, so bolj strnjena na vzhodu in jugu Slovenije; označeni sta prvi dve žarišči v Naklem (2001/2002) in v Škofji Loki (2003).*

območja preostale Slovenije, ki omogoča nadzorovano pridelavo gostiteljskih rastlin. Znotraj ustaljenih okuženih območij je mogoče vzpostaviti nevtralno območje nadzorovane pridelave gostiteljskih rastlin, ki je veliko najmanj 50 km<sup>2</sup>. Pogoj za vzpostavitev lokacij pridelave gostiteljskih rastlin znotraj tako razmejenega območja je tudi prostorska oddaljenost od roba žarišča, ki mora biti najmanj 500 m. Vse zgoraj naštetje razmejitve območij in določitev razdalj bi bile brez uporabe GIS-a zelo težko izvedljive.

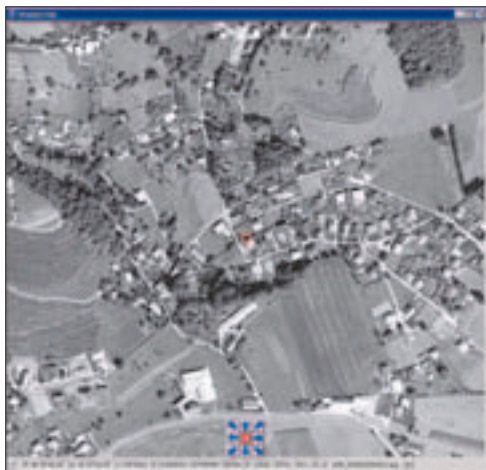
## 2.2 Zagotovitev evidentiranja s pomočjo aplikacije FITO-nadzor

Za zagotovitev evidentiranja posameznih izbruhov hruševega ožiga je bila v letu 2003 zasnovana aplikacija FITO-nadzor (slika 4), ki omogoča nacionalni službi zdravstvenega varstva rastlin ustrezno evidentiranje terenskih nadzorov in rezultatov laboratorijskih analiz. Aplikacija je odjemalsko strežniška. V testni fazi je bila namenjena predvsem za evidentiranje podatkov nadzora hruševega ožiga, kasneje pa smo jo nadgradili še z drugimi moduli, ki so omogočili zbiranje podatkov pridobljenih v okviru ostalih posebnih nadzorov škodljivih organizmov (npr. koruznega hrošča, trsnih rumenic, idr.). Aplikacija omogoča pregled podatkov preko centralnega strežnika, na katerem so podlage za zajem prostorskih podatkov (digitalne karte, register prostorskih enot, zemljiški kataster).

V aplikacijo so vključene georeferencirane karte kot so: pregledne in tematske karte Slovenije, TK25, gozdna vegetacija, temeljni topografski načrti in digitalni ortofoto posnetki, tako da je omogočeno lociranje mest pregledov in najdb okužbe. Za učinkovitejše delo smo vključili tematski sloj žarišč hruševega ožiga z vsemi varovalnimi pasovi, ki so omogočali razmejitve neokuženih in nevtralnih območij hruševega ožiga.

## 2.3 Povezava laboratorijskih podatkov s terenskimi podatki

V letu 2005 je bil v aplikacijo FITO-nadzor dodan modul za povezavo laboratorijskih podatkov oziroma rezultatov analiz in testiranj za potrebe prostorskega lociranja potrditve okužbe. Aplikacija omogoča določitev predpisanega varnostnega območja v primeru ugotovitve okužene rastline in s tem območja novega žarišča (slika 5).



Slika 4: FITO-nadzor kot aplikacija za zajem in obdelavo podatkov nadzora škodljivih organizmov.



Slika 5: Izris varnostnega območja okoli točke najdbe okužbe v aplikaciji FITO-nadzor.

## 2.4 Letna prijava pridelave in lokacija pridelave

Pri letni prijavi pridelave je bila v letu 2006 upoštevana novost, da morajo zavezcanci vpisa v FITO-register, ki so podrobneje opredeljeni v pravilniku o pogojih za registracijo pridelovalcev, prede-lovalcev, uvoznikov in distributerjev rastlin, rastlinskih proizvodov in drugih nadzorovanih predmetov in izdajanje rastlinskih potnih listov (UL RS, št. 94/05), le to prijaviti tudi kot grafično enoto rabe zem-ljišč kmetijskih gospodarstev (GERK), ki bodo od leta 2007 dalje nadomestile prijavo letne pridelave na katastrsko parcelo. Tako bodo zajete strnjene površine kmetijskega zemljišča z isto vrsto dejanske rabe na enem kmetijskem gospodarstvu (slika 6).

Zaradi širjenja boleznin in ogroženosti zaradi okoliških okužb sadnega drevja je potrebno za osno-vanje drevesnice in matičnega nasada pridobiti soglasje za odobritev nove lokacije. Izbiro lokacije drevesnice za koščičaste sadne vrste opredeljujeta predpisa o ukrepih za preprečevanje širjenja in zati-ranja leptonekroze koščičarjev (ESFY) in šarke (Plum pox virus), ki določata, da mora biti lokacija pridelave oddaljena vsaj 100 m oziroma 250 m od intenzivnega nasada koščičarjev in brez okužbe. Za načrtovanje nove lokacije pridelave gostiteljskih rastlin hruševega ožiga je potrebno upoštevati, da se lokacija nahaja na neokuženem ali nevtralnem območju in je oddaljena vsaj 500 m od roba žarišča.

Navedeni podatki so pridobljeni s pomočjo prostorske analize in podatkov iz aplikacije FITO-nadzor.



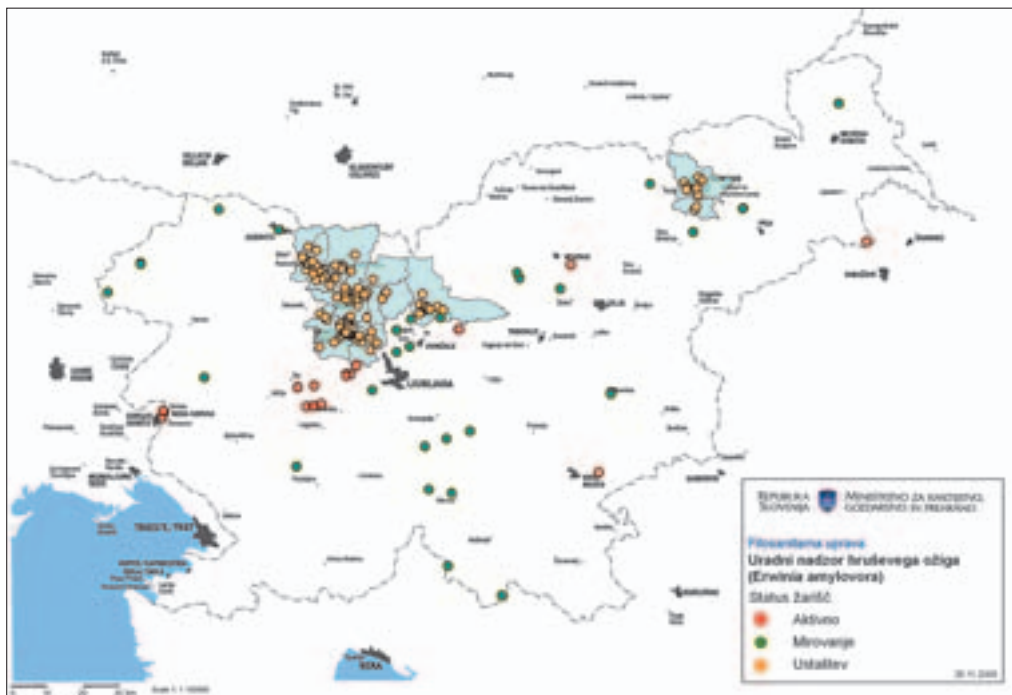
*Slika 6: Uporaba grafičnih enot rabe zemljišč kmetijskih gospodarstev (GERK) za namene lociranja nove lokacije pridelave.*

## 2.5 Novosti pri zajemanju podatkov hruševega ožiga v letu 2006

V letu 2006 so bila na podlagi rezultatov posebnih nadzorov na novo opredeljena posamezna žarišča okužbe (slika 7). Žarišča na območju Gorenjske in v okolici Maribora so bila opredeljena kot žarišča, kjer se je hrušev ožig ustalil. Geografsko so bila določena z razmejitvijo po posameznih občinah (slika 7). Žarišča, kjer se hrušev ožig v treh letih ni več pojavljal, so bila z odločbo preklicana in opredeljena kot žarišča v mirovanju. Tista žarišča izven ustaljenih okuženih območij, kjer je bila okužba laboratorijsko potrjena, so bila razglašena kot aktivna žarišča, na katerih so potrebni ukrepi eradikacije.

## 3 Sklepi in diskusija

Na podlagi rezultatov posebnih nadzorov v letih od 1998 do 2005 je bilo ugotovljeno, da je nadzor bakterije hruševega ožiga učinkovit, saj so bili z ustrezno geografsko opredelitvijo območij vzpostavljene pogoji za izvajanje učinkovitega fitosanitarnega nadzora. Bakterija *Erwinia amylovora* je sicer ugotovljena kot navzoča, a ostaja pod uradnim nadzorom, ki lahko za več let upočasnijo njeno širjenje in prihrani slovenskemu sadjarstvu in drevesničarstvu velike gospodarske izgube.



Slika 7: Žarišča na okuženem območju Gorenjske in v okolici Maribora, aktivna žarišča in žarišča v mirovanju.

## 4 Viri in literatura

FITO-nadzor 2003, 2004: Baza podatkov o pregledih, testiranju in ukrepih pri posebnem nadzoru hruševega ožiga. Inšpektorat RS za kmetijstvo, gozdarstvo in hrano; Kmetijski inštitut Slovenije; Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije; KGZS-zavod Maribor; KGZS-zavod Novo mesto; KGZS-zavod Nova Gorica; Fitosanitarna uprava Republike Slovenije.

Knapič, V., Potočnik, A., Škerlavaj, V., Brecl, A. 2004: First outbreaks of fireblight in Slovenia, European Plant Protection Organisation, EPPO Conference on fireblight, Budapest. Bulletin OEPP/EPPO Bulletin 34.

Medmrežje: <http://www.eppo.org/> (18. 5. 2006)

Medmrežje: <http://www.furs.si/> (18. 5. 2006)

Medmrežje: <http://www.mkgp.gov.si/> (18. 5. 2006)

Medmrežje: <https://www.ippc.int/IPPC/En/default.jsp> (18. 5. 2006)

Navodila za vzpostavitev uradnih evidenc o obvladovanju hruševega ožiga. Fitosanitarna uprava RS, Ljubljana, št. 327-01-440/2003-3.

Odločba o določitvi mej posebno nadzorovanega območja in o ukrepih za preprečevanje širjenja in zatiranje bakterijskega hruševega ožiga v Naklem in okolici. Uradni list RS, št. 31/02.

OEPP/EPPO 1992: EPPO Standards PM/40 Phytosanitary procedures for *Erwinia amylovora*. Bulletin OEPP/EPPO Bulletin 22, str. 225–232.

OEPP/EPPO 2001: First report of *Erwinia amylovora* in Slovenia. EPPO reporting Service Paris. 2001/120.

- Potočnik, A., Jerman-Cvelbar, J., Brecl, A. 2003: Inšpekcijski ukrepi in nadzor ob ugotovitvi bakterijskega hruševega ožiga (*Erwinia amylovora* (Burr.) Winsl. et al.) v Naklem. Zbornik predavanj in referatov 6. slovenskega posvetovanja o varstvu rastlin v Zrečah od 4. do 6. marca 2003. Ljubljana: Društvo za varstvo rastlin Slovenije, str. 112–117.
- Šabec-Paradiž, M., Pečar Fonovič, U., Škerlavaj, V., Knapič, V. 2002: Bakterijski Hrušev Ožig v Sloveniji (*Erwinia amylovora* (Burr.) Winsl. in sod.). *Sodobno kmetijstvo* 35–3.

## IZBIRA MREŽE ZA PROSTORSKO ANALIZO PODZEMELJSKE BIODIVERZITETE

**Maja Zagmajster in dr. Boris Sket**

Oddelek za biologijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani

Večna pot 111, 1000 Ljubljana

maja.zagmajster@bf.uni-lj.si, boris.sket@bf.uni-lj.si

**dr. Tomaž Podobnikar**

Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU

Novi trg 2, Ljubljana

tp@zrc-sazu.si

UDK: 574:659.2:004

### IZVLEČEK

#### **Izbira mreže za prostorsko analizo podzemeljske biodiverzitete**

Ugotavljanje prostorskih vzorcev je odvisno od velikosti celic mreže, s katero prekrijemo proučevano območje, kot tudi od številčnosti razpoložljivih osnovnih podatkov. Zanimalo nas je, kako se spreminja vzorec razporeditve števila vrst na širšem Dinarskem območju, če za analize uporabimo mreže s kvadratnimi celicami s stranico 80, 40, 20, 10 in 5 km. Za modelno skupino smo izbrali troglobiotske vrste hroščev iz poddružine Leptodirinae (Cholevidae). Z metodo črno-belih stikov med celicami smo ugotovili, da razporeditev podatkov v prostoru ni naključna. Izračunali smo koeficienta avtokorelacije (Moran I, Geary c) za razporejanje števila vrst po celicah, najvišja vrednost pozitivne avtokorelacije je bila pri velikostih celic 40 × 40 in 20 × 20 km. Ta velikost celic je torej primerna za nadaljnje prostorske analize. Celice z najvišjim številom vrst na proučevanem območju se pri vseh velikostih nahajajo na JV Dinaridov, vendar pa vedno med seboj ne sovpadajo. Visoko število vrst je tudi na krasu v Sloveniji.

### KLJUČNE BESEDE

prostorsko vzorčenje, avtokorelacija, razširjenost, biodiverziteta, troglobiotski hrošči, Coleoptera, Leptodirinae, Dinarski kras

### ABSTRACT

#### **Choosing a grid network for spatial analysis of subterranean biodiversity**

Spatial pattern is dependent on the size of the grids, with which the study area is covered, as well as from the quantity of available data. We investigated how the spatial pattern of data in broader Dinaric area changes with the use of different sizes of square grid cells: 80 × 80, 40 × 40, 20 × 20, 10 × 10 and 5 × 5 km. We analyzed data on troglobiotic species of the beetle (Coleoptera) subfamily Leptodirinae (Cholevidae). Joint count statistics revealed data are not distributed randomly. We calculated two indexes of autocorrelation: Moran's I and Geary's c. The highest value of positive autocorrelation was with the 40 × 40 km and 20 × 20 km size of the grid cells. These cell sizes should be used in further spatial analyses. Cells with the highest number of species were always situated in the area of SE Dinaric karst, but their position mostly did not coincide with cells at different size. High number of species per cell area is evident also in Slovenian karst.

### KEYWORDS

spatial sampling, autocorrelation, distribution, biodiversity, troglobiotic beetles, Coleoptera, Leptodirinae, Dinaric karst

## 1 Uvod

Z odkritjem prvega jamskega hrošča drobnovratnika *Leptodirus hochenwartii* (Schmidt, 1832) v 19. stoletju se je začelo raziskovanje podzemeljskega živalstva, ki je bilo dotlej povsem neznano. Raziskovalci so začeli odkrivati, da živijo v podzemlju živalske vrste, ki so se na posebnosti takega okolja zelo dobro prilagodile in so drugačne kot živali v površinskih habitatih. Imenujemo jih »prave jamske živali« ali troglobionti. Poleg fizioloških prilagoditev pri teh živalih srečamo tudi različne morfološke prilagoditve na podzemno okolje (troglomorfizem). Najbolj običajne so pokrnevanje oči, redukcija pigmenta ter podaljšanje okončin. Vendar pa niso vse prave jamske vrste takega videza, kar včasih oteži ugotavljanje, ali gre za troglobiotsko vrsto. Če je poznana le iz podzemeljskih jam, skoraj gotovo pripada tej skupini.

Troglobiotske vrste so pomembne za rekonstrukcijo razvoja površja in ugotavljanje zaporedja v izmenjevanju kopnega in morja skozi geološko zgodovino. Razlike v vzorcih razširjenosti taksonov so posledica preteklih geoloških dogodkov pri nastajanju obravnavanega ozemlja in njegovega zakrsevanja, čeprav so pomembne tudi ekološke, genetske in druge posebnosti dotične živalske vrste. Študije o razširjenosti taksonov lahko pripomorejo k razlagi paleogeografskih razmer na nekem ozemlju in obratno (Guéorguiev 1977; Sket 1988, 2002).

Po številu troglobiotskih vrst je favna Dinarskega krasa najbogatejša na svetu (Sket et al. 2004). Na območju držav zahodnega Balkana (kjer je vključen tudi manjši nedinarski del Slovenije in Hrvaške) se nahaja skoraj 80 % troglobiotskih vrst, ki žive na Balkanskem polotoku, to je več kot 1300 (Sket et al. 2004). Med vodnimi troglobionti so najbolj vrstno raznolika skupina raki (Crustacea), medtem ko so med kopenskimi najbolj raznoliki hrošči (Coleoptera) in pajkovci (Arachnida) (Culver in Sket 2000). Na Dinarskem območju se nahaja kar 6 od 14 jam v Evropi, kjer je bilo odkritih več kot 20 troglobiotskih vrst (Culver in Sket 2000). Kar tri jame od teh so daljše od 5 km, kar naj bi tudi vplivalo na njihovo vrstno bogatost – daljša jama pomeni tudi večje število različnih razpoložljivih habitatov (Culver in Sket 2000). Izjemno bogastvo vrst na tem območju je morda povezano z razgibano geološko preteklostjo (Sket 1996), Culver et al. (2006) pa med pomembnimi dejavniki izpostavljajo gostoto jam in visoko stopnjo produkcije na površju.

Na območju Dinaridov imata vodna in kopenska troglobiotska favna različna centra raznolikosti. Medtem ko je vrstno bogastvo prve najvišje na JV delu Dinaridov, ki obsega ozemlja znotraj Bosne in Hercegovine, JV Dalmacije (Hrvaška) in JZ Črne Gore, pa je najvišje število vodnih na SZ delu Dinarskega območja, na krasu in njegovi sosesčini v Sloveniji (Guéorguiev 1977; Sket 1999a, 1999b; Sket et al. 2004).

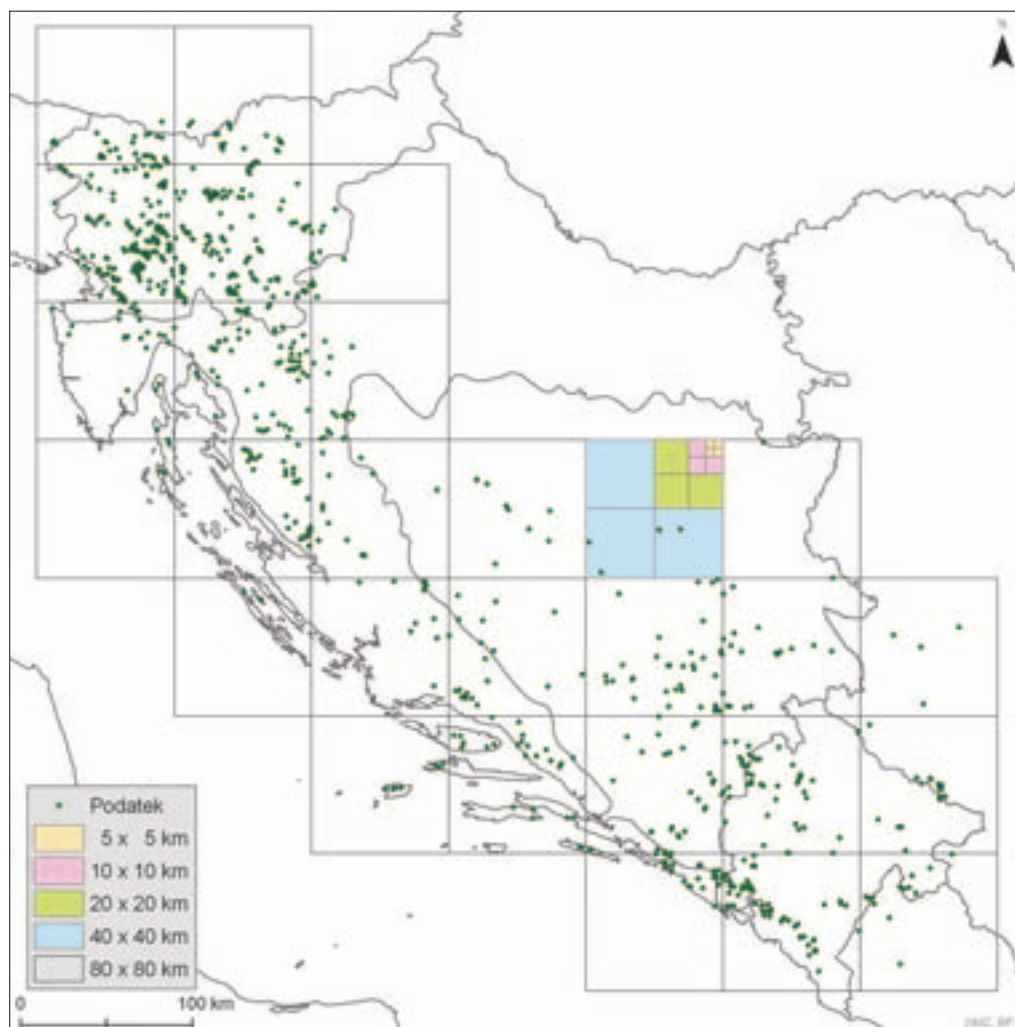
Te ugotovitve temeljijo na seznamih vrst za obravnavana območja, naš namen pa jih je preveriti tudi z natančnejšimi prostorskiimi analizami. Za te namene bomo podatke pripisali mreži s kvadrati enake velikosti, ki bo prekrivala proučevano območje. Da bomo lahko zaznali značilne prostorske vzorce, moramo izbrati mrežo s primerno velikostjo celic. Z izbiro prevelikih se lahko pri analizah vzorcev razširjenosti zabrišejo regionalni vzorci (Noonan 1999), pri izbiri premajhnih pa podatke preveč raztresemo in vzorci prav tako niso vidni (Hausdorf in Hennig 2003). Preverili bomo, kakšna velikost mrežne celice bi bila najprimernejša za analize razširjenosti in biodiverzitete podzemeljske favne na Dinarskem območju. Za modelno skupino smo izbrali troglobiotske vrste hroščev iz družine Cholevidae (poddružine Leptodirinae).

## 2 Metode in gradiva

Podatki o podzemeljski favni širšega Dinarskega območja so zbrani v bazi Raziskovalne skupine za zoologijo in speleobiologijo Oddelka za biologijo Biotehniške fakultete. Poleg dodajanja novih podatkov v zadnjih nekaj letih poteka geolociranje lokalitet. Te glede na položajno natančnost določenih koordinat uvrščamo v devet razredov natančnosti, kar je odvisno od opisa položaja v literaturi in raz-

položljivega kartografskega vira, s katerega smo prebrali koordinate. Koordinate vhodov jam v Sloveniji smo povzeli iz Jamskega katastra Slovenije, pri čemer se s pravilnostjo določenih koordinat v njem nismo ukvarjali. V nekaj primerih v Sloveniji smo koordinate prebrali s kart merila 1 : 25.000 (na Interaktivnem naravovarstvenem atlasu Slovenije, ARSO, <http://kremen.arso.gov.si/NVatlas/>) in 1 : 50.000 (na Interaktivnem atlasu Slovenije, Mladinska knjiga). Za lokacije na ozemlju drugih držav smo uporabili: digitalizirane geokodirane karte 1 : 25.000 Republike Hrvaške, karte merila 1 : 100.000 (Veliki atlas Hrvatske, Mozaik knjiga), karte 1 : 100.000 Vojaškega geografskega inštituta Kraljevine Jugoslavije ter internetni naslov s koordinatami krajev (Global Gazetteer Version 2.1, <http://www.fallingrain.com/world/>).

Za modelno skupino smo izbrali troglobiotske hrošče poddružine Leptodirinae (Cholevidae), ki so verjetno najtemeljiteje raziskana skupina kopenskih jamskih živali. Upoštevali smo le lokalitete, za



Slika 1: Prikaz proučevanega območja, ki ga prekriva mreža z velikostjo celic  $80 \times 80$  km. Manjše celice smo dobili tako, da smo vsako celico razdelili na 4 enaka polja (prikaz na kvadrantu sredi slike), vse do velikosti  $5 \times 5$  km.



katere je položajna natančnost določena s krogom polmera 3 km ali natančneje. S tem predpogojem smo lahko upoštevali 1038 geolociranih lokalitet, po katerih se razporeja 196 vrst izbranih hroščev.

Ozemlje nekdanjih jugoslovanskih republik se da v dveh dimenzijah lepo kartirati z Lambertovo stožčno projekcijo (centralni poldnevnik  $18^\circ$ , standardna vzporednika:  $42^\circ$  in  $46^\circ$ ). Zato smo v tej projekciji pripravili mrežo z osnovnimi kvadratnimi celicami različnih velikosti. Manjše celice smo dobili z razdelitvijo večjih na štiri podenote (Sl. 1).

Prisotnost troglobiotskih vrst je pogojena s prisotnostjo primernega podzemnega habitata, tako da je v prostorske analize nesmiselno vključevati območja, kjer tega ni. Tako smo s celicami največje velikosti pokrili glavnino »širšega Dinarskega območja« (Sl. 1). Na severozahodu smo v obravnavo vključili tudi nedinarska kraška območja, kot so alpski del Slovenije in obmejno območje Avstrije. Z mrežo celic nismo prekrili skrajnega južnega dela Črne Gore in dela Albanije, kjer se Dinaridi iztekajo. Ker gre za majhne površine, smo ta območja zanemarili. Pripravili smo mrežo s kvadratnimi osnovnimi celicami s stranicami 80 km, 40 km, 20 km, 10 km in 5 km. Celicam mreže smo pripisali število vrst, ki se na tistem območju pojavljajo. Na matrikah prisotnosti in števila troglobiotskih vrst smo izračunali tri mere razporejanja podatkov.

Izračunali smo pogostost »črno-belih stikov«. Pri tej statistiki ugotavljamo, ali je razporejanje neke spremenljivke v celicah posledica naključja ali ne (Fortin in Dale 2005). Naše podatke smo pretvorili v binarne – prisotnost podatka je bila kodirana kot 1, odsotnost kot 0. Statistika »črno-belih« stikov prešteje, koliko je stikov med kvadranti z isto kategorijo (1-1, 0-0) in koliko je raznorodnih stikov (1-0). Skupno število stikov je seštevek vseh treh možnosti (Fortin in Dale 2005). Ničelna hipoteza naključnega razporejanja podatkov je testirana na podlagi deleža vsake kategorije in števila stikov na proučevanem območju (Fortin in Dale 2005). Če je frekvenca opaženih črno-belih stikov manjša od pričakovanih, se podatki kopičijo (Christman et al. 2005).

Izračunali smo tudi dva koeficienta avtokorelacije za razporejanje števila vrst, in sicer Moranov koeficient  $I$  in Gearyjev koeficient  $c$ . Če je prostorska korelacija pozitivna, to pomeni, da je porazdelitev opredeljena z gručami objektov, če pa je negativna, je vzorec razpršen. Moranov koeficient  $I$  zavzema vrednosti od 1 (pozitivna avtokorelacija), do  $-1$  (negativna avtokorelacija). Če je blizu 0, je prostorski vzorec naključen. Moranov koeficient  $I$  ponazarja povprečno vrednost prostorske avtokorelacije na določeni razdalji od objektov za celotno proučevano območje (Fortin in Dale 2005). Gearyjev koeficient  $c$  ne uporablja povprečja, ampak meri razlike med vrednostmi spremenljivke na bližnjih lokacijah, pri tem je stopnja prostorske avtokorelacije osnovana na razlikah kot funkcijah razdalje (Fortin in Dale 2005). Koeficient zavzema vrednosti od 0 (pozitivna avtokorelacija) do 2 (negativna avtokorelacija), vrednosti okoli 1 nakazujejo naključno razporeditev. Statistično značilnost obeh avtokorelacijskih koeficientov smo testirali z oceno značilnosti, temelječe na 1000 Monte Carlo permutacijah (Sawada 1999).

Prostorske odnose med celicami v mreži, ki so v obliki kvadratov, lahko ocenjujemo glede na različno število sosednjih celic ali glede na določeno razdaljo, znotraj katere merimo (Fortin in Dale 2005). Upoštevalo lahko štiri sosede, ki si s kvadratom delijo skupno stranico (v smislu premikanja šahovskih figur tak primer imenujemo »trdnjava«, angl. rook), štiri vogalne sosede (poimenovano »lovec«, angl. bishop) ali vseh osem, ki ga obkrožajo (imenovano »kraljica«, angl. queen). Enak učinek lahko dobimo, če izberemo primerno evklidsko razdaljo, znotraj katere računamo avtokorelacijo. Izbrana razdalja, ki bo enaka dolžini stranice kvadrata, bo merila avtokorelacijo glede na štiri sosede (»rook«), medtem ko bo razdalja, enaka dolžini diagonale kvadrata, merila avtokorelacijo glede na vseh osem sosedov (»queen«) (Fortin in Dale 2005). Vse izračune smo naredili dvakrat s tema dvema razdaljama, oz. z upoštevanjem štirih in osmih sosedov.

Razporeditev števila vrst in položaj celic z največ vrstami na celice različnih velikosti smo prikazali s tematskimi kartami, kjer nas je zanimal položaj celic z najvišjim številom vrst.

Za pripravo prostorskih podatkov in prikaz teh na karti smo uporabili programska orodja ArcGIS ver. 9.1 (ESRI) in sicer modula ArcInfo in ArcMap. Podatke smo urejali tudi s pomočjo preglednic programa Excel (MS). Za izračune vseh koeficientov smo uporabili »Add-In« program za Excel, Rook-

case.xla (Sawada 1999), za katerega smo matrike prostorskih podatkov predhodno pripravili s prej omejenimi programi.

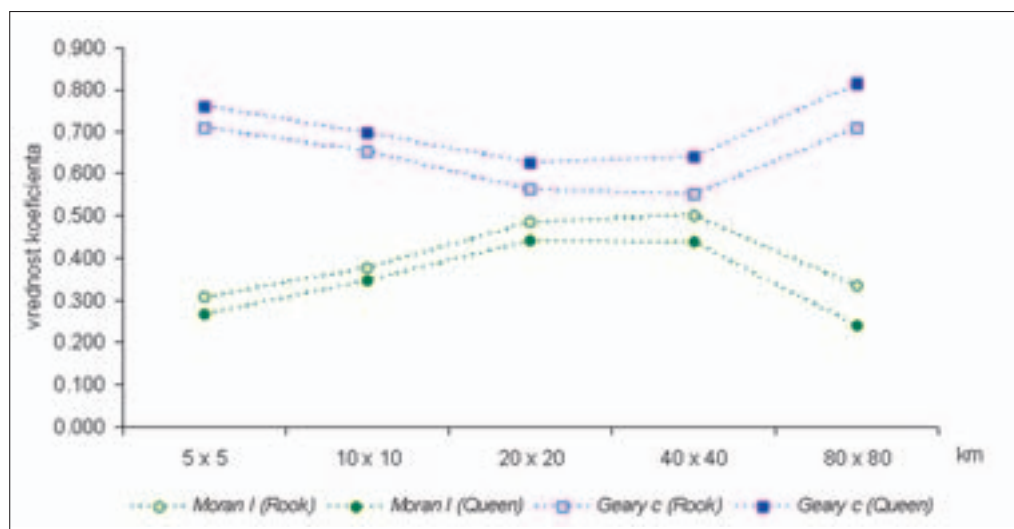
### 3 Rezultati

Izračunane in pričakovane vrednosti koeficienta »črno-belih« stikov so podane v Preglednici 1. Za vse velikosti mreže in ob upoštevanju dveh števil sosedov je izračunana frekvenca črno-belih stikov manjša od pričakovane. To pomeni, da razporeditev podatkov znotraj obravnavanega območja ni razporejena naključno in da se podatki grupirajo (Christman et al. 2005). Koeficienta za območja  $80 \times 80$  km nismo mogli izračunati, saj imajo vsi kvadranti znotraj območja v matriki enako vrednost in raznorodnih stikov ni.

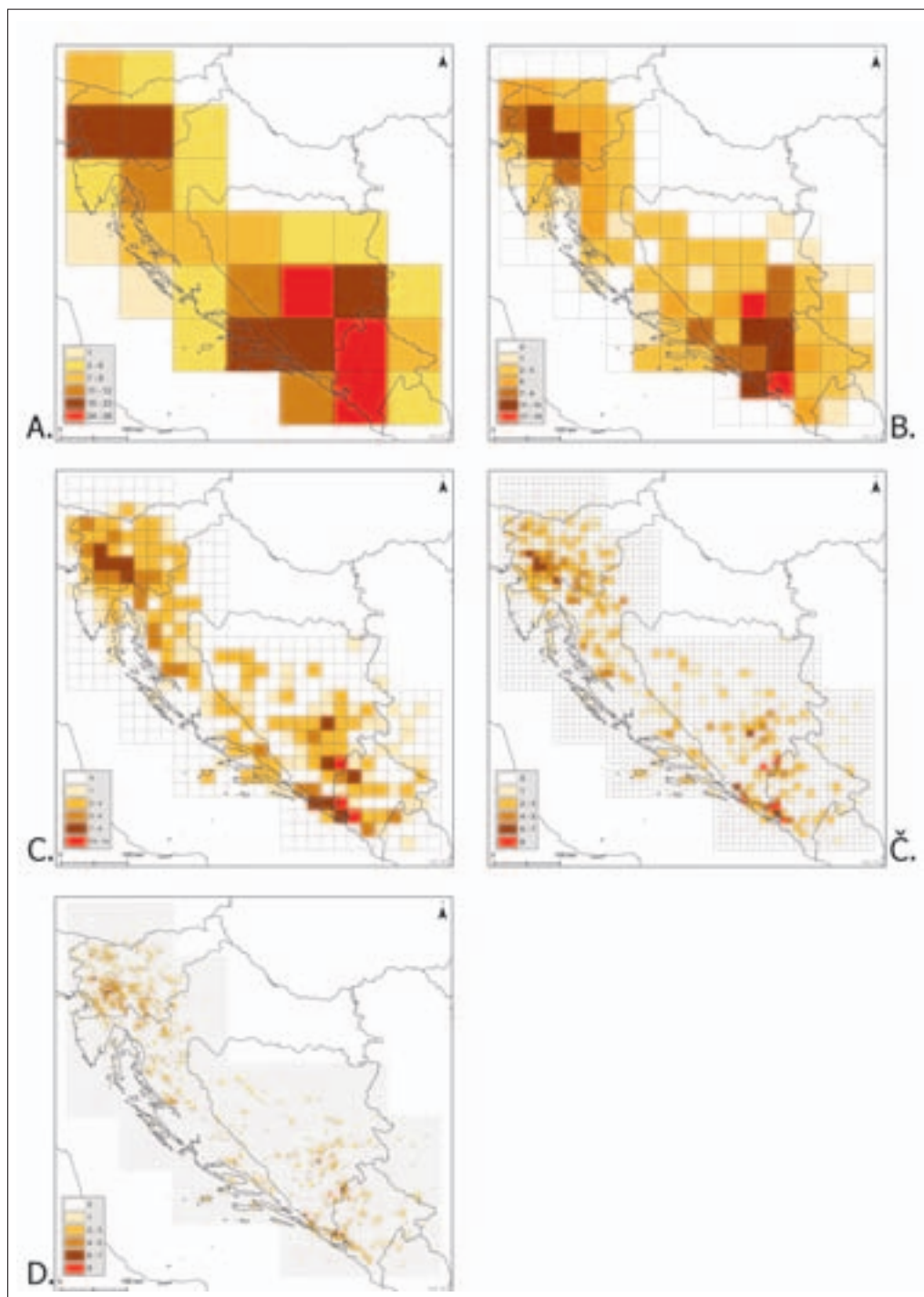
*Preglednica 1: Izračunane in pričakovane frekvence črno-belih stikov pri različnih velikostih celic mreže. »Rook« – izračun glede na štiri sosedne kvadrata, ki imajo z njim skupno stranico; »Queen« – izračun glede na osem sosedov, ki obkrožajo kvadrant.*

Velikost celice	»Rook«		»Queen«	
	Izračunan	Pričakovan	Izračunan	Pričakovan
$5 \times 5$ km	0,17	0,23	0,17	0,23
$10 \times 10$ km	0,05	0,43	0,27	0,43
$20 \times 20$ km	0,20	0,50	0,23	0,50
$40 \times 40$ km	0,23	0,44	0,29	0,44

Vrednosti Moranovega koeficienta  $I$  in Gearyjevega koeficienta  $c$  so podane v Preglednici 2. Pri upoštevanju štirih sosedov je najvišja stopnja avtokorelacije števila vrst na podlagi obeh koeficientov pri velikosti celice  $40 \times 40$  km. Le za spoznanje manjše vrednosti se izkažejo pri velikostih kvadrata



Slika 2: Vrednosti Moranovega koeficienta  $I$  in Gearyjevega koeficienta  $c$  avtokorelacije pri različnih velikostih osnovne celice mreže. Pojasnilo za »Rook« in »Queen« je pri preglednici 1.



Slika 3: Razporejanje števila vrst hroščev Leptodirinae glede na celico različnih velikosti: A – 80 × 80 km, B – 40 × 40 km, C – 20 × 20 km, Č – 10 × 10 km, D – 5 × 5 km.

20 × 20 km. Vrednost Moranovega koeficienta  $I$  se z naraščanjem velikosti celic veča, dokler se pri največjih kvadrantih zopet občutno ne zmanjša. Enak trend v zaznavanju avtokorelacije kaže Gearyjev koeficient  $c$ . Stopnja avtokorelacije je pri upoštevanju osmih sosedov manjša, vendar se glede na velikost osnovne celice spreminja na enak način (Sl. 2).

Preglednica 2: Vrednosti Moranovega koeficienta  $I$  in Gearyjevega koeficienta  $c$  avtokorelacije pri različnih velikostih celic mreže. Pojasnilo za »Rook« in »Queen« je pri preglednici 1.

Velikost celice	Moran $I$ »Rook«	Moran $I$ – »Queen«	Geary $c$ – »Rook«	Geary $c$ – »Queen«
5 × 5 km	0,307 **	0,265 **	0,708 **	0,757 **
10 × 10 km	0,376 **	0,345 **	0,651 **	0,695 **
20 × 20 km	0,484 **	0,440 **	0,559 **	0,624 **
40 × 40 km	0,500 **	0,437 **	0,550 **	0,637 **
80 × 80 km	0,333 *	0,238 *	0,707 *	0,813

\*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,001$

Položaj celic z najvišjo vrstno pestrostjo hroščev Leptodirinae pri kvadrantih različnih velikosti smo prikazali s kartami (Slika 3). Celice z najvišjim številom vrst se vedno pojavljajo na območju JV Dinaridov, na stičišču Hercegovine, Črne gore in južne Dalmacije. Celice z zelo visokim številom vrst se pojavljajo tudi na SZ Dinaridov, v Sloveniji. Položaj celic z največjim številom vrst je odvisen od izbrane velikosti celice, vseeno pa so najbogatejše celice vedno na širšem območju JV Dinaridov. Pri celicah z gostejšo mrežo začnejo po številu vrst bolj izstopati tudi celice na območju Slovenije.

## 4 Diskusija

Pri obravnavi razširjenosti podzemne favne, za katero večinoma povzemamo podatke iz literaturnih virov, je lahko geolociranje lokalitet problematično. Te so v literaturnih virih podane z različno natančnostjo opisa, pogosto pa tudi pod zastarelimi, tujimi, ali celo pod izmišljenimi imeni. Prostorski položaj lokalitet je tako določen različno natančno. V naših analizah smo upoštevali le podatke s tako natančnostjo, da jih je bilo smiselno uporabiti tudi pri mrežah s celicami najmanjše velikosti. Zato 16 vrst hroščev, za katere lokalitet nimamo tako natančno geolociranih, ni bilo vključenih v analizo.

Pri tovrstnih študijah se vedno soočamo z bolj ali manj nepopolnimi podatki o razširjenosti vrst. Tako vsakič ugotavljamo vzorce razširjenosti, ki so posledica nekega trenutnega stanja poznavanja. Vzorec vrstne bogatosti se v času lahko spreminja, kar so za slovenski kras potrdili Culver et al. (2004). Primerjali so posledice odkrivanja novih vrst v zaporedju treh obdobj, pri čemer se je nekaj območij z visoko biodiverzitetjo jamske favne ohranilo kljub odkrivanju novih vrst. O meri raziskanosti na Dinarškem krasu lahko sklepamo tudi po številu raziskanih jam, od koder imamo podatke o kopenski favni. V našem primeru lahko ugotovimo, da je na območju Slovenije velika gostota vzorčenih lokalitet, od koder imamo podatke za izbrano skupino hroščev. Kljub temu pa se območja z najvišjim številom vrst pri vseh mrežah pojavljajo na območju JV Dinaridov.

Za stopnjo prostorske korelacije dobimo različne vrednosti, če jo računamo z upoštevanjem različnega števila sosedov. Pri upoštevanju vseh osmih sosedov so bile vrednosti obeh koeficientov nižje. Vpliv štirih robnih sosedov je drugačen kot vpliv štirih vogalnih sosedov, zato so razlike med koefi-

cienti pričakovane. Temu problemu se je mogoče deloma izogniti z uporabo šesterokotniških celic (White et al. 2000), kjer je vsak šesterokotnik obkrožen z enakovrednimi sosedi. Analize biodiverzitete podzemne favne so na tovrstni mreži že delali za slovenske Dinaride (Culver et al. 2004). Vendar pa so za prikaz, kako se razporejanje podatkov spreminja glede na velikost osnovne celice, primernejši kvadrati. Te je mogoče s preprostim geometrijskim ukazom razdeliti na manjše enote, kot smo to prikazali v naši analizi.

Stopnja avtokorelacije med podatki, razporejenimi po celicah različnih velikosti, se je spreminjala. Pri manjših celicah je pozitivna avtokorelacija majhna, potem je narasla, in pri največji velikosti celice zopet občutno padla. Vendar so razlogi za nizke in skorajda enake vrednosti koeficientov avtokorelacije pri majhnih in velikih celicah različni (Fortin in Dale 2005). Pri majhnih celicah je v posamezno enoto zajetih le nekaj podatkov, hkrati je veliko število celic praznih, in je zato stopnja avtokorelacije nizka. Pri celicah velikosti  $80 \times 80$  km pa smo z velikostjo lahko zajeli več procesov na tem območju, hkrati je ta velikost lahko večja, kot je sam areal vrste (Fortin in Dale 2005). Analiza stopnje avtokorelacije je torej lahko eden izmed dobrih kriterijev za izbiro primerne velikosti mrežnih celic. Tako sta se za najprimernejši izkazali mreži s celicami velikosti  $20 \times 20$  in  $40 \times 40$  km. V mrežah s celicami takih velikosti pa lahko upoštevamo tudi podatke z manjšo prostorsko natančnostjo lokalitet kot smo jo izbrali v tem delu, kar je v nekaterih primerih lahko pomembno in odločujoče.

Z izvedenimi analizami smo ugotovili, katera velikost osnovne celice bo najprimernejša za prihodnje prostorske študije. S tem se bomo skušali izogniti tudi problemu pomanjkanja podatkov z nekimi območji zaradi premalo temeljitega vzorčenja. Pripravili bomo sloje, ki bodo prikazovali razporeditev biodiverzitete kot tudi razširjenost posameznih vrst. Tovrstne sloje lahko primerjamo z izbranimi dejavniki na proučevanem območju. Tako je npr. bilo ugotovljeno, da sta število jam in število troglobiotskih vrst med seboj povezana (Christman in Culver 2001). Ker za obravnavano območje Dinaridov natančnega popisa jam ni, razen za Slovenijo, lahko o njihovi prisotnosti sklepamo glede na prisotnost primerne geološke podlage (karbonatnih kamenin). Nadaljnje prostorske študije bomo izvajali tudi v smeri ugotavljanja povezav z drugimi okoljskimi in zgodovinskimi dejavniki na tem območju.

## 5 Viri in literatura

- Christman, M. C., Culver, D. C. 2001: The relationship between cave biodiversity and available habitat. *Journal of Biogeography*, 28.
- Christman, M. C., Culver, D. C., Madden, M. K., White, D. 2005: Patterns of endemism of the eastern North American cave fauna. *Journal of Biogeography*, 32.
- Culver, D. C., Sket, B. 2000: Hotspots of subterranean biodiversity in caves and wells. *Journal of Cave and Karst Studies*, 62.
- Culver, D. C., Master, L. L., Christman, M. C. & Hobbs, H. H. 2000: Obligate cave fauna of the 48 contiguous United States. *Conservation Biology*, 14.
- Culver, D. C., Christman, M. C., Sket, B., Trontelj, P. 2004: Sampling adequacy in an extreme environment: species richness patterns in Slovenian caves. *Biodiversity and Conservation*, 13.
- Culver, D. C., Deharveng, L., Bedos, A., Lewis, J. L., Madden, M., Reddell, J. R., Sket, B., Trontelj, P., White, D. 2006: The mid-latitude biodiversity ridge in terrestrial cave fauna. *Ecography*.
- Fortin, M.-J., Dale, M. 2005: Spatial analysis: a guide for ecologists. Cambridge University press.
- Guéorguiev, V. B. 1977: La faune troglobie terrestre de la péninsule Balkanique. Origine formation et zoogéographie. Izdatelstvo na B'lgarska Akademija na Naukite, Sofija.
- Hausdorf, B., Hennig, C. 2003: Biotic element analysis in biogeography. *Systematic Biology*, 52(5).
- Noonan, G. R. 1999: GIS analysis of the biogeography of beetles of the subgenus *Anisodactylus* (Insecta: Coleoptera: Carabidae: genus *Anisodactylus*). *Journal of Biogeography*, 26.
- Sawada, M. 1999: Rookcase: an Excel 97/2000 Visual basic (VB) Add-in for exploring global and local spatial autocorrelation. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 80(4).

- Sket, B. 1988: Zoogeografija sladkovodnih in somornih rakov (Crustacea) v kvarnersko-velebitskem območju. *Biološki vestnik*, 36(2).
- Sket, B. 1994: Distribution patterns of some subterranean Crustacea in the territory of the former Yugoslavia. *Hydrobiologia*, 287.
- Sket, B. 1996: Biotic diversity in hypogean habitats in Slovenia and its cultural importance. *International Biodiversity Seminar Ecco XIV. Meeting*, Ljubljana.
- Sket, B. 1999a: High biodiversity in hypogean waters and its endangerment – the situation in Slovenia, the Dinaric Karst, and Europe. *Crustaceana* 72(8).
- Sket, B. 1999b: The nature of biodiversity in hypogean waters and how it is endangered. *Biodiversity and Conservation*, 8.
- Sket, B. 2002: The evolution of the karst versus the distribution and diversity of the hypogean fauna. *Evolution of Karst: from Prekarst to Cessation*, 225–232.
- Sket, B., Paragamian, K., Trontelj, P. 2004: A census of the obligate subterranean fauna of the Balkan peninsula. *Balkan Biodiversity*. Kluwer Academic Publishers.
- White, D. 2000: Global grids from recursive diamond subdivisions of the surface of an octahedron or icosahedron. *Environmental Monitoring Assessment* 64.



## VEČSTOPENJSKI MODEL DOLOČANJA UNIFORMNIH STORITVENIH OBMOČIJ AVTOBUSNIH POSTAJALIŠČ

**dr. Dejan Paliska in mag. Daša Fabjan**

Fakulteta za pomorstvo in promet

Pot pomorščakov 4, 6320 Portorož

dejan.paliska@fpp.uni-lj.si, dasa.fabjan@fpp.uni-lj.si

**mag. Samo Drobne**

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Jamova 2, 1000 Ljubljana

samo.drobne@fgg.uni-lj.si

UDK: 656.132:659.2:004

### IZVLEČEK

#### **Večstopenjski model določanja uniformnih storitvenih območij avtobusnih postajališč**

V članku predstavljamo večstopenjski model za določitev uniformnih storitvenih območij avtobusnih postajališč. Model temelji na posameznih lokacijah gospodinjstev – za razliko od prejšnjih modelov (Paliska s sod. 2004), ki so bili zasnovani na lokacijah avtobusnih postajališč. Uporabljen pristop temelji na dostopnem času pešca do avtobusnega postajališča popravljenega z uporabo gibanja po terenu (naklon terena) in funkcijskim upadom pripravljenosti potnikov za hojo do avtobusnega postajališča. Prednost modela se izkaže predvsem na razgibanih suburbanih območjih, kjer prevladuje med avtobusnimi prevozniki šibka konkurenca in ni prisotnih dopolnilnih avtobusnih prog.

### KLJUČNE BESEDE

avtobus, avtobusno postajališče, javni avtobusni potniški promet, dostopnost, prevoz potnikov, GIS

### ABSTRACT

#### **Modeling bus stop accessibility and uniform bus stop service area**

This paper examines a three step model to calculate the accessibility of bus stops and determine the uniform service areas for bus stops, especially those with overlapping service areas. The model is based on households' locations, as opposed to former models which were based on bus stop locations. A GIS approach has been used to evaluate passengers' walking times that were defined considering the terrain slope correction and the distance decay function, which was applied to reflect the decline in demand with respect to distance. The model has shown its advantages especially in suburban areas with almost no competition between transit providers and no additional bus routes.

### KEYWORDS

bus service, bus stop, accessibility, transit, public transit, GIS



## 1 Uvod

Dostopnost je pri proučevanju mobilnosti prebivalstva s pojavom sodobnejših urbanih struktur, ki temeljijo na razvoju suburbanih središč, dodatno pridobila na pomembnosti. Javni potniški promet, ki naj zagotavlja povezavo med posameznimi središči (tudi znotraj urbanih struktur), se načeloma odvija po vnaprej definiranih in poznanih progah. Takšen sistem uspešno deluje, če je storitev uporabnikom primerno dostopna.

Storitveno območje avtobusnega postajališča definiramo kot geografsko območje okoli kontaktne točke in je generator povpraševanja po storitvi v kontaktni točki (Lutin s sod. 1981). Potniki večinoma dostopajo do kontaktnih točk (avtobusnih postajališč) peš – raziskave kažejo, da je v ZDA več kot 79 odstotkov takih potnikov (Zhao s sod. 2003) – zato ima oddaljenost gospodinjstva od kontaktnih točk velik pomen pri izbiri prevoznega sredstva. Že dolgo pa je splošno uveljavljeno in znano, da večina potnikov ni pripravljena hoditi do kontaktne točke javnega transporta več kot 500 metrov oziroma 0,25 milje (USDOT 1979a, 1979b). Bolj so kontaktne točke oddaljene, manjša je verjetnost uporabe javnega transportnega sredstva. Zhao in sodelavci (Zhao s sod. 2002) so na podlagi anketnega vzorca ugotovili, da pada funkcija pripravljenosti potnikov peš hoje do avtobusne/železniške postaje, eksponentno z večanjem oddaljenosti od kontaktnih točk. Ugotovili so, na primer, da je razdaljo 1000 metrov pripravljeno prehoditi manj kot 5 odstotkov anketiranih, razdaljo 100 metrov pa več kot 70 odstotkov anketiranih. V takšnem pristopu lahko torej obravnavamo dostopnost do kontaktne točke kot časovno oddaljenost.

Dostopnost do avtobusnega postajališča v urbanih okoljih je odvisna od vrste dejavnikov, predvsem od urbanističnih značilnosti okolja. Ulična in cestna mreža imata s svojimi značilnostmi velik vpliv. Slepe ulice, slabo povezana in slabo zasnovana ulična mreža ter razne ovire, kot so večji ograjeni kompleksi, protihrupne zaščite, podporni zidovi, ograje ter večje stavbe, lahko bistveno vplivajo na dostopnost do avtobusnih postajališč.

## 2 Metode alociranja povpraševanja

Izbira pravilne metode alociranja povpraševanja je pomembna, saj lahko napačna izbira povzroči velika odstopanja v rezultatih. Peng in Dueker (1995) sta primerjala rezultate štirih različnih metod alociranja povpraševanja in ugotovila precejšnje razlike v rezultatih. Poleg same metode pa je na rezultat vplivala tudi stopnja agregacije podatkov. Podobno razlikovanje glede na uporabljeno metodo so ugotovili tudi Paliska in sodelavci (Paliska s sod. 2004). Splošno znano je, da z nižjo stopnjo agregacije podatkov vnašamo tudi manj napak v postopek alokacije povpraševanja. Drugi vir napak pri določevanju storitvenih območij in alokaciji povpraševanja predstavljajo konkurenčne proge in postajališča. Velikokrat se zgodi, da se proge med seboj prekrivajo ali pa so postajališča konkurenčnih prog zelo blizu. To povzroči, da se storitvena območja teh prog in postajališč (delno) prekrivajo. Prevozniki in proge si v taki situaciji pri pridobivanju potnikov konkurirajo – če tega ne upoštevamo, se lahko zgodi, da je povpraševanje na opazovani progji precenjeno.

Potniki iz storitvenih območij, ki se prekrivajo, lahko izbirajo med dvema ali več postajališči, vendar se običajno odločijo samo za eno. Potencialno povpraševanje posameznega potnika pa alociramo samo enemu postajališču. Literatura (Peng s sod. 1994; Zhao s sod. 2002; Kimpel s sod. 2005) navaja nekaj metod korekcije povpraševanja. Najbolj enostavna metoda deli alocirano povpraševanje s številom storitvenih območij prog ali postaj, ki si konkurirajo. Tak način ni najbolj primeren, saj imajo lahko proge različne končne destinacije. Peng in sodelavci so definirali konkurenčne proge kot vzporedne proge, s katerimi proga deli skupno storitveno območje in oskrbuje enako destinacijo. V tej definiciji je predpostavka, da morajo konkurenčne proge imeti skupno destinacijo, precej omejevalna, saj lahko potniki uporabijo katerokoli progjo ali avtobusno postajališče in ne samo tiste, ki pelje v enako smer.

A priori ne moremo vedeti, kam bodo potniki potovali, zato je v modelu nemogoče predvideti, katere proge so za posameznega potnika konkurenčne. Kimpel je v svoji raziskavi upošteval učinek vseh možnih konkurenčnih prog s ponderiranjem dostopnosti do konkurenčnih prog (Kimpel 2001). Njegov pristop je zasnovan na nivoju vmesnih območij okoli postaje. Tak pristop nujno potrebuje korekcijo v alokaciji, saj metoda vmesnega območja za določanje storitvenega območja že sama po sebi prece- ni povpraševanje.

## 2.1 Prekrivanje storitvenih območij

Konkurenčne proge si delijo storitvena območja avtobusnih postajališč, načeloma pa nimajo ena- kih frekvenc storitve. Delni nadzor prekrivanja storitvenih območij avtobusnih postajališč, lahko zagotovimo z modeliranjem relativne prostorske dostopnosti do avtobusnih postajališč v geografskem informacijskem sistemu (v nadaljevanju GIS).

Izvedenih je bilo kar nekaj empiričnih raziskav, v katerih so raziskovalci na podlagi rezultatov anke- te analizirali prostorsko dostopnost do avtobusnih postajališč (Neilson in Foeler 1972; Levinson in Brown-West 1984; Hsiao s sod. 1997; Zhao s sod. 2002, 2003). Iz rezultatov teh študij je mogoče skle- pati, da povpraševanje po transportni storitvi pada z oddaljenostjo od avtobusnega postajališča (ki jo potniki običajno prehodijo). Zhao in sodelavci (2003) so na podlagi ankete ugotovili, da pripravlje- nost za hojo do avtobusnega postajališča pada eksponentno s funkcijo  $f_x = e^{-0,0013x}$ , medtem ko Kimpel s sodelavci (2005) zagovarja negativno logistično funkcijo  $f_x = \text{ilog}(x; 6; 24)$ , ki počasneje pada pri krajših razdaljah in bolj strmo pri večjih razdaljah ( $x$  v obeh funkcijah je oddaljenost od avtobusnega posta- jališča v miljah). Omenjene študije so tudi pokazale, da metoda 500-metrskega vmesnega območja okoli avtobusne postaje ne zajame vseh potencialnih potnikov. V primeru, da uporabimo večje vmesno območ- je, pa se pojavijo velike napake v oceni potencialnega povpraševanja. Te lahko popravimo z uporabo funkcije upada pripravljenosti do hoje.

Avtobusne postaje so prostorsko razporejene in medsebojno oddaljene glede na standarde in izkuš- nje prevoznikov. V mestih so razdalje med zaporednimi postajami manjše kot na obrobju ali izven mesta. Raziskave kažejo, da – glede na urbanistične in prometne značilnosti mesta – povprečne razdalje med zaporednimi avtobusnimi postajami variirajo med dvema in šestimi kilometri, z minimalnimi razda- ljami manjšimi od 500 metrov (Ammon 2001). Taka prostorska porazdelitev povzroča prekrivanje storitvenih območij avtobusnih postaj na posamezni progi kot tudi prekrivanje storitvenih območij z dopolnilnimi ali konkurenčnimi progami – kar povzroča težave pri sami alokaciji povpraševanja.

## 3 Model

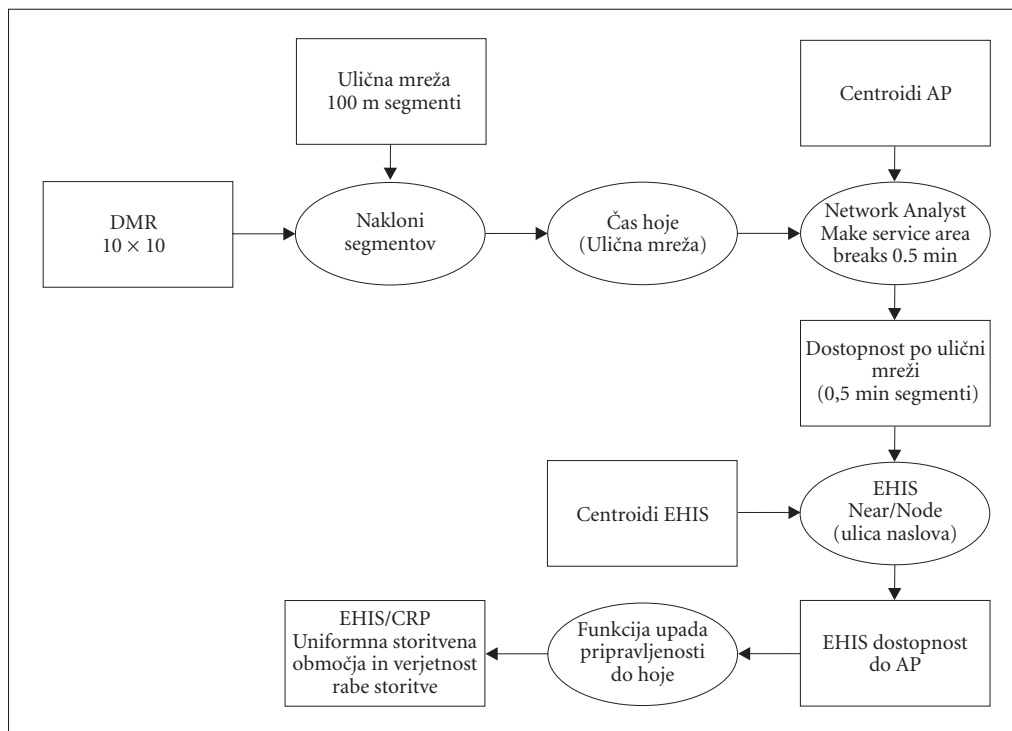
V nadaljevanju predstavljen model je del širšega modela, ki je namenjen ocenjevanju potencialnih potnikov na posameznem avtobusnem postajališču (Paliska 2005). Primeren je za ocenjevanje dostop- nosti do avtobusnih postajališč v razgibanem okolju pri majhnih variacijah v ponudbi storitve (frekvence in števila sedežev) in pri šibki konkurenci. Večstopenski model določanja uniformnih stor- itvenih območij avtobusnih postajališč temelji na dostopnih časih pešcev, članov gospodinjstev do najbližjega avtobusnega postajališča. V njem predpostavljamo, da se potniki v pogojih enake kvalitete in kvantitete storitve odločajo za bližje avtobusno postajališče. Model temelji na lokacijah gospodinj- stev, kjer se člani posameznega gospodinjstva odločajo samo za eno, najbližjo, avtobusno postajališče – le-to pa omogoča določitev uniformnih storitvenih območij avtobusnih postajališč.

Model združuje uporabo vektorskega in rastrskega pristopa modeliranja dostopnosti in uniform- nih storitvenih območij v geografskem informacijskem sistemu (slika 1). V prvem koraku se s pomočjo digitalnega modela reliefa izračunajo nakloni cestnih segmentov ulične mreže. Ulična mreža je pred- hodno segmentirana na segmente krajše od 100 metrov. Na tako ponderiranih cestnih odsekih se nato

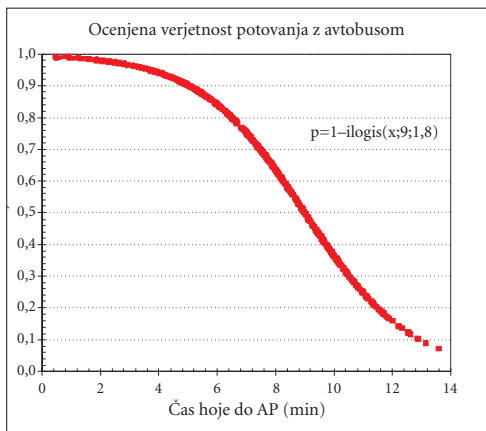
izračuna čas potreben za peš prehod posameznega cestnega odseka. V drugem koraku model izdela drevesa poti po ulični mreži z izhodiščem v centroidih avtobusnih postajališč. ArcGIS 9.1 Network Analyst omogoča delitev poti v razrede (angl. breaks) po kumulativni vrednosti uporabljene uteži, tako dobimo dostopnost po ulični mreži, ki je definirana s polminutnimi segmenti. V naslednjem koraku poiščemo vsakemu centroidu iz podatkovne baze EHIŠ najbližje vozlišče polminutnega segmenta. V tem koraku je postavljen pogoj, da mora iskano vozlišče polminutnega segmenta predstavljati del ulice iz naslova gospodinjstva (ta korak omogoča upoštevanje možnih ovir kot so; protihrupne pregrade, podporni zidovi, avtoceste, nepreходna območja itd.). Na podlagi izračunane evklidske razdalje se za vsak centroid gospodinjstva izračuna čas hoje do najbližjega polminutnega segmenta. V zadnjem koraku pa prištejemo čas dostopa do najbližjega segmenta času dostopa do centroida avtobusnega postajališča. Tako dobimo skupni čas dostopa, ki ga pripišemo centroidu gospodinjstva.

Verjetnost, da bodo potniki dostopali to pripisanega avtobusnega postajališča, izračunamo s funkcijo upadanja pripravljenosti do hoje ter glede na skupni čas dostopa do najbližjega avtobusnega postajališča. Slika 2 prikazuje v model aplicirano funkcijo upada pripravljenosti do hoje od doma do avtobusnega postajališča.

Funkcija upada pripravljenosti do hoje, ki smo jo vgradili v model, je zasnovana na izsledkih drugih avtorjev (Zhao s sod. 2002; Kimpel s sod. 2005; O'Neill s sod. 1998) in prirejena za uporabo časa hoje. Glede na urbanistične in prometne značilnosti opazovanega območja smo smiselno prilagodili funkcijo na način, da je pripravljenost do hoje manjša kot bi bila izven urbanega območja. Predpostavili smo, da bo do pet minut pripravljeno hoditi 90 odstotkov potnikov, do 10 minut pa le vsak tretji potnik. Tako smo ocenili kot najbolj primerno funkcijo  $f_x = \text{ilog}(x;9:18)$ .



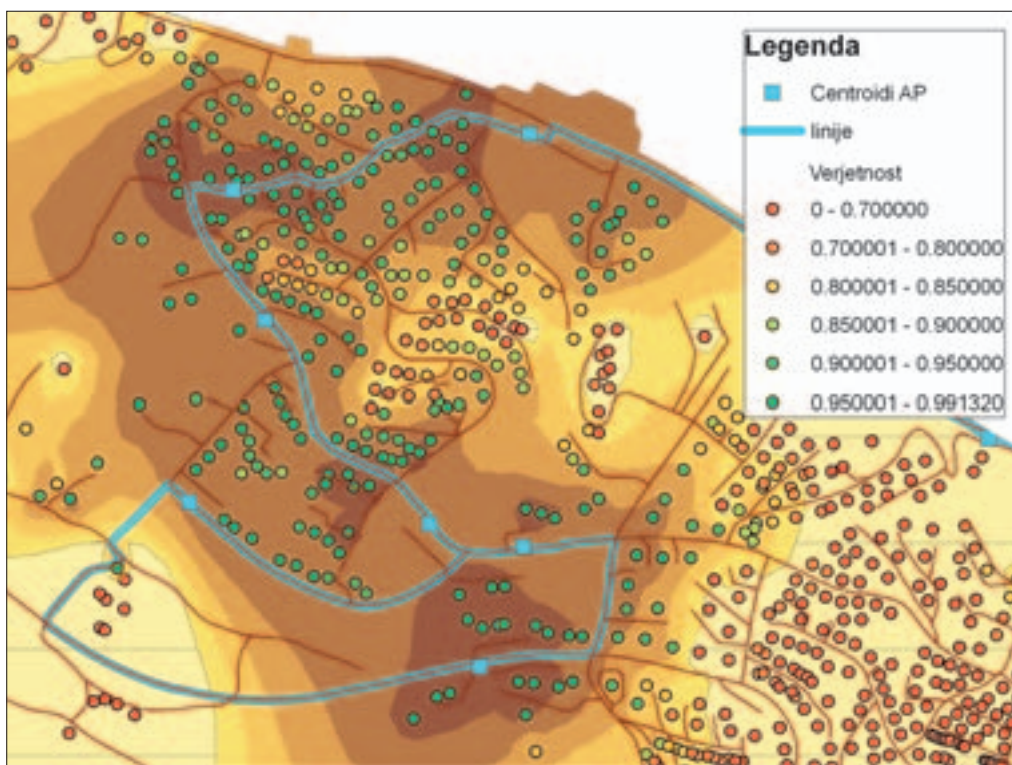
Slika 1: Shematski prikaz večstopenjskega modela določanja uniformnih storitvenih območij avtobusnih postajališč.



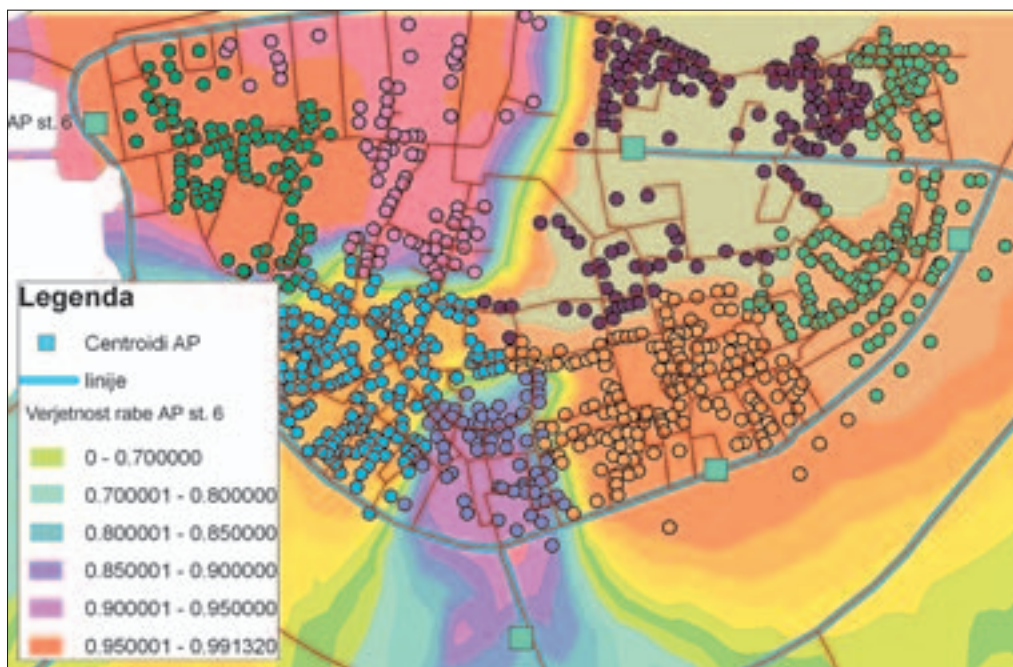
Slika 2: Funkcija upada pripravljenosti do hoje od doma do avtobusnega postajališča.

## 4 Rezultati

Primernost uporabljene metode vgrajene v opisan model smo preverili tako, da smo rezultate primerjali z izsledki predhodno opravljene ankete (anketiranci so ocenjevali tudi čas hoje do najbližjega



Slika 3: Verjetnost uporabe avtobusnega prevoza na nivoju gospodinjstva.



Slika 4: Uniformna storitvena območja avtobusnih postajališč v starem jedru mesta Koper.

avtobusnega postajališča). Primerjava izračunanih časov dostopa in rezultatov anket je pokazala, da se izračunani časi zelo malo razlikujejo od dojemanja dostopnosti anketirancev: 836 anketirancev ocenjuje, da imajo do najbližjega avtobusnega postajališča manj kot 7 minut hoje. V modelu smo izračunali, da ima 953 potnikov čas dostopa do najbližjega postajališča krajši od 7 minut, v 820 primerih se rezultati izračuna in ankete ujemajo. To predstavlja približno 13 odstotno razliko med izračunano in dojemano dostopnostjo. Večji del te razlike lahko pripišemo različnemu dojetanju anketirancev za čas ter (ne)poznavanju soseke.

Slika 4 prikazuje uniformna storitvena območja avtobusnih postajališč glede na razmestitev gospodinjstev v starem jedru mesta Koper. Določili smo jih ob predpostavki, da se člani posameznega gospodinjstva odločajo samo za eno, najbližjo, avtobusno postajališče.

## 5 Sklep

V prispevku smo predstavili večstopenjski model določanja uniformnih storitvenih območij avtobusnih postajališč. Uporabljen pristop temelji na dostopnem času pešca do avtobusnega postajališča popravljenega z uporomo gibanja po terenu (naklon terena) in funkcijskim upadom pripravljenosti potnikov za pešačenje do avtobusnega postajališča.

Glede na rezultate lahko sklepamo, da model dobro oceni čas hoje do najbližjega avtobusnega postajališča. Uporaba funkcije upadanja pripravljenosti do hoje, korigira velikost storitvenega območja avtobusnih postajališč, nizek nivo agregacije podatkov pa omogoča definiranje uniformnih storitvenih območij. V prispevku opisan model ne upošteva nekaterih pomembnih dejavnikov, ki nastopajo pri izbiri prevoznega sredstva, zato ni neposredno primeren za alociranje povpraševanja po transportni storitvi. V ta namen ga je potrebno nadgraditi.

## 6 Viri in literatura

- Ammons, D. N. 2001: *Municipal benchmarks: Assessing local performance and establishing community standards*, Sage Publications, Thousand Oaks, CA.
- Hsiao, S., J., Lu, J., Sterling, M., Weatherford 1997: Use of geographic information system for analysis of transit pedestrian access. *Transportation Research Record*, (1604): 50–59.
- Kimpel, T. J. 2001: *Time Point-Level Analysis of Transit Service Reliability and Passenger Demand*. Portland, OR: Unpublished Doctor of Philosophy in Urban Studies, Portland State University.
- Kimpel, T. J., K. J., Dueker, A., El-Geneidy 2005: Using GIS to measure the effect of service area and frequency on passenger boardings at bus stops. *Urisa Journal* (Under review), [http://urisa.org/publications/journal/articles/using\\_gis\\_to\\_measure\\_the\\_effects](http://urisa.org/publications/journal/articles/using_gis_to_measure_the_effects)
- Levinson, H. S., O., Brown-West 1984: Estimating bus ridership. *Transportation Research Record*, (994): 8–12.
- Neilson, G., W., Fowler 1972: Relation between transit ridership and walking distances in a low-density Florida retirement area. *Highway Research Record*, (403): 26–34.
- O'Neill, W. A., R. D., Ramsey, J., Chou 1992: Analysis of transit service areas using geographic information systems. *Transportation Research Record*, (1364), str. 131–138.
- Peng, Z., K. J., Dueker 1995: Spatial data integration in route-level transit demand modeling. *Journal of the Urban and Regional Information Systems Association*, (7), str. 26–37.
- Paliska, D. 2005: *Model vrednotenja vpliva zanesljivosti javnega potniškega avtobusnega prevoza na povpraševanje*. Doktorska disertacija. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za pomorstvo in promet, Portorož.
- Paliska, D., S., Drobne, D., Fabjan 2004: Uporaba GIS-a za proučevanje prostorske dostopnosti v analizi povpraševanja po storitvi JPP. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2003–2004*. ZRC, Ljubljana, str. 79–88.
- Zhao, F., L., Chow, M., Li, I., Ubaka, A., Gan 2003: Forecasting transit walk accessibility: Regression model alternative to buffer. *Transportation Research Record*, (1835), str. 34–41.
- Zhao, F., L., Min-Tang, L. F., Chow, A., Gan, D., Shen 2002: *FSUTMS Mode Choice Modeling: Factors Affecting Transit Use and Access*. Zaključno poročilo projekta, National Center For Transit Research (NCTR), University of South Florida, Tampa.
- Lutin, J. M., M., Liotine, T. M., Ash 1981: Empirical analysis of transit service areas. *Transportation Engineering Journal of ASCE*, 107(4), str. 427–444.
- U. S. Department of Transportation, Urban Mass Transit Administration 1979a: *Analyzing Transit Options for Small Urban Communities-Analysis Methods*. Washington, DC: UMTA.
- U. S. Department of Transportation, Urban Mass Transit Administration 1979b: *Transit Corridor Analysis: A Manual Sketch Planning Technique*. Washington, DC: UMTA.



## MOŽNOSTI ANALIZE IN PRIKAZOVANJA STATISTIČNIH PODATKOV V HIERARHIČNI MREŽI

**Igor Kuzma in Danijela Šabić**

Statistični urad Republike Slovenije

Vožarski pot 12 1000 Ljubljana

igor.kuzma@gov.si, danijela.sabic@gov.si

UDK: 311.2:91:004

### IZVLEČEK

#### **Možnosti analize in prikazovanja statističnih podatkov v hierarhični mreži**

Slovenska državna statistika se je odločila za registrsko orientirano pridobivanje, shranjevanje in obdelavo podatkov. S tem je omogočeno natančno prostorsko opredeljevanje podatkov ter analiza in prikazovanje podatkov tudi v mrežah, vendar kljub večkratni uporabi te metode v preteklosti standardni nabor tako definiranih podatkov še ni bil določen. Takšen način obravnave podatkov se vse bolj uveljavlja v državah EU, ki bodo morale v skladu z evropsko direktivo INSPIRE v sprejemanju uvesti enoten nacionalni prostorski podatkovni sloj hierarhične mreže. Skladno s tem je Statistični urad RS v letu 2005 začel s projektom uvažanja hierarhične mreže in z vzorčnimi testi doma ter s študijskim projektom z avstrijskim statističnim uradom začel postavljati statistične standarde na tem področju.

### KLJUČNE BESEDE

hierarhična mreža, prostorska analiza podatkov, prostorsko prikazovanje podatkov, zaščita individualnih podatkov

### ABSTRACT

#### **Possibilities of analyses and display of statistical data in a hierarchical grid.**

Statistical Office of the Republic of Slovenia has decided for a register-based data collection and management. This enables positioning definition of the data as well as analyses and display of the data in grids. The standard list of data that will be calculated in grids (network) has not yet been defined although this method has frequently been used in the past years. Several EU member states already practice this kind of calculation of the data and after the implementation of the EU directive INSPIRE this will become obligatory for all EU countries. In 2005 the Statistical Office of the Republic of Slovenia began with the analysis of establishing a hierarchical grid with sample tests and with a study visit at Statistik Austria with the aim to define Slovenian standards in this field

### KEYWORDS

hierarchical grid, spatial data analysis, spatial data display, individual data protection



## 1 Uvod

Potreba po kakovostnih prostorskih podatkih se s širjenjem različnih orodij za obdelavo prostorskih podatkov v državni upravi, znanstvenoraziskovalnih ustanovah ter v zasebnem sektorju, naglo povečuje. Z vedno več zahtevami po posredovanju le-teh se srečuje tudi Statistični urad Republike Slovenije (SURS), ki kakovost statističnih podatkov med drugim zagotavlja tudi z zakonsko zavezanostjo varovanju zaupnosti svojih poročevalskih enot, kar pa nemalokrat pomeni omejitvev pri posredovanju podatkov uporabnikom, ki glede na prostorske značilnosti Slovenije velikokrat želijo prav dostop do zaščitene individualnih\* podatkov oziroma do mikropodatkov\*\*.

Ena od možnih rešitev za obe strani je posredovanje podatkov v hierarhični mreži, ki omogoča združevanje individualnih podatkov v mrežo enako velikih celic, primerno za nadaljnje prostorske analize. Zaradi njene uporabnosti v GIS-sistemih, hierarhično mrežo kot obliko posredovanja statističnih podatkov uporabljajo številni evropski statistični uradi, kot ena izmed možnih oblik obdelave prostorskih statističnih podatkov pa je predvidena tudi v evropski direktivi INSPIRE v sprejemanju. Slovenska statistika zato intenzivno spremlja razvoj tega področja v Evropi ter se redno udeležuje sestankov delovne skupine Eurostata »GIS v statistiki«. V zvezi s tem je bila v okviru študijskega obiska na avstrijskem statističnem uradu izvedena tudi meddržavna analiza statističnih podatkov.

## 2 Hierarhična mreža

V iskanju soglasja med željami uporabnikov in različnimi zakonskimi ter drugimi omejitvami, s katerimi se srečujejo nacionalne statistične institucije, se je kot boljša rešitev izkazal sistem statistik majhnih enot oziroma sistem hierarhične mreže. To je sistem, kjer mreže sestavljajo na posamezni ravni v hierarhiji enako velike kvadratne celice. Celice mrež nižjih ravni se povezujejo v celice višjih ravni. Celice so osnovne prostorske enote z določeno pozicijo znotraj mreže in dodano informacijo. Namesto prikazovanja različnih geopodatkov v obliki, kot se pojavljajo izvirno v geografskem smislu, so v pravilni hierarhični mreži podatki združeni in porazdeljeni v kvadratnih celicah. Celice tako glede na namen prikazovanja podatkov postanejo nosilke različnih informacij in lahko ponazarjajo različne podatke v njihovi prvotni obliki. Takšne celice imenujemo informacijske celice (IBC, information bearing cells). Vsaka kvadratna celica tvori geografsko območje in vsi atributi znotraj tega območja so vezani na celico – takšna transformacija se lahko naredi v tabelarični obliki. Sistem hierarhične mreže, kot v celoti umetno ustvarjena delitev prostora na enako velike kvadratne celice, ne pozna običajne delitve na majhne in velike administrativne enote, ki se na isti ravni razlikujejo po površini in po številu zajetih prebivalcev. Te enote so glede na potrebo po položajni natančnosti namenjene tako zbiranju kot analizi in prikazovanju prostorskih podatkov, sistem hierarhične mreže pa zbiranja podatkov v mejah posamezne celice običajno ne predvideva.

Celice so časovno statične in niso odvisne od vnaprej določene delitve ali regionalizacije. Velika prednost mreže je tudi v tem, da lahko uporabimo različne podatke ne glede na njihov izvor, lahko jih združujemo ter uporabljamo v prostorskih analizah. Lastnosti hierarhične mreže (Backer 1999, 5):

- neodvisnost od političnih ali administrativnih območij,
- časovna stabilnost (območja se ne spreminjajo),
- enakomernost porazdelitve enot (primerljivost območij),
- uporabnost za mikro in makro analize,

\* Individualni podatek je podatek, ki opisuje lastnosti, stanja ali razmerja posameznika ali pravne osebe in je del zaključene celote podatkov o enoti pojava.

\*\* Mikropodatek oziroma deindividualizirani podatek pa je individualni podatek, ki je spremenjen tako, da iz njega ni mogoče določiti enote, na katero se nanaša.

- možnost obdelave podatkov s standardnimi GIS-orodji,
- enostavna tvorba iz točkovnih podatkov.

Hierarhično mrežo kot obliko posredovanja podatkov že uporabljajo številni evropski statistični uradi (avstrijski, danski, finski, švedski, norveški ...). Vse države EU pa bodo takšen sistem morale vzpostaviti skladno z evropsko direktivo INSPIRE (INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe initiative), ki predvideva vzpostavitev vseevropske hierarhične mreže z enim izhodiščem. Prezem direktive INSPIRE je predviden za obdobje 2007–2009 in njena izvedba v obdobju 2009–2013. Razprave glede vsebine in dostopnosti do te baze podatkov sicer še potekajo.

Za potrebe direktive INSPIRE je Evropska komisija oblikovala posebno delovno skupino, ki se v okviru JRC-ja (Joint Research Centre, European Commission) ukvarja z možnostjo vzpostavitve skupne evropske hierarhične mreže. Slednja je predlagala Evropski komisiji sprejetje skupnega evropskega referenčnega sistema hierarhične mreže za poročanje in statistične analize. Predlagani sistem bo sposoben vključiti že obstoječe državne mreže in je narejen kot podlaga za bodoče mreže vzpostavljene na evropskem ozemlju.

Omenjena delovna skupina je vseevropsko mrežo opredelila kot hierarhično mrežo za prikazovanje tematskih podatkov, ki jo predstavlja sistem pravih in georeferenciranih celic z določeno obliko, velikostjo in drugimi lastnostmi.

Različni sistemi hierarhične mreže se sicer že uporabljajo za različne vzorčne raziskave kot je sistematično vzorčenje (LUCAS), zbiranje podatkov (ICP forest) ali za obdelavo podatkov o celotnem ozemlju EU in izdelovanje kart (IMAGE 2000), prostorske analize (CORINE CLC), poročanje ter statistične analize (ESPON, Atlas florae). Uporabniki skupnega evropskega sistema hierarhične mreže bodo državne uprave držav članic EU, nacionalni statistični uradi, znanstvene organizacije, nacionalni raziskovalni inštituti in nevladne organizacije, Evropska komisija, Evropska okoljska agencija in druge evropske agencije ter različne organizacije in institucije povezane z medregionalnimi in transnacionalnimi projekti prostorskega planiranja.

### 3 Statistični podatki in hierarhična mreža

Posredovanje statističnih podatkov v hierarhični mreži je zaradi omenjenih lastnosti primerno za obdelavo s standardnimi GIS-orodji, hkrati pa ob upoštevanju pravil zakrivanja zaupnih podatkov zagotavlja anonimnost poročevalskih enot, kar je ena izmed zakonskih obvez Statističnega urada. Takšna oblika posredovanja največ ponuja uporabnikom, ki jim je onemogočen dostop do zaščitene mikropodatke. Statistično zaščitene mikropodatek je po definiciji podatek, ki je spremenjen tako, da iz njega ni mogoče določiti enote, na katero se nanaša, ob tem pa vsebuje spremenljivke, na podlagi katerih je mogoče izvajati statistično analizo na enak način, kot je to mogoče z individualnim podatkom. V Sloveniji imajo pravico pridobiti statistično zaščitene mikropodatke registrirane raziskovalne institucije, registrirani raziskovalci (tj. osebe s statusom raziskovalca) in raziskovalci organov državne uprave.

Geografska lokacija posameznika ali podjetja je zelo očitna lastnost, ki jo je mogoče uporabiti za razkritje zaupne informacije, zato moramo pri objavi statističnih podatkov izbrati primerno stopnjo položajne natančnosti, ki ne razkriva individualnega nosilca podatka. Posebno pozornost je potrebno nameniti objavi podatkov za območja, ki se med seboj zelo malo razlikujejo, saj se pojavi problem razlike pri odštevanju podatkov enega območja od drugega, pri čemer lahko dobimo podatek za kočljivo majhno območje.

Države z vzpostavljenim sistemom hierarhične mreže posredujejo svojim uporabnikom podatke ob različnih pragih zakrivanja. Praviloma števila poročevalskih enot v celici ne zakrivajo, imajo pa različno visoke prage prikazovanja podatkov za lastnosti le-teh. Splošno pa velja, da se uporablja ista pravila kot veljajo za zakrivanje podatkov v tabelah, tudi za zakrivanje podatkov v hierarhični mreži. Glede

na naravo podatkov (npr. dohodnina) je podatke za celice hierarhične mreže možno posredovati tudi v razredih namesto absolutnih števil, s čimer se zagotovi še dodatno zaščito podatkov. Slovenski statistični urad podatkov v hierarhični mreži zaenkrat še ne posreduje, vendar z različnimi analizami in s sodelovanjem z drugimi statističnimi uradi proučuje to možnost. Trenutno se podatke v hierarhični mreži prikazuje v skladu s prakso zakrivanja podatkov uporabljeno pri Popisu 2002. Pri tem se upošteva tudi pravila sekundarnega zakrivanja podatkov, ki onemogočajo izračun zakritih podatkov na osnovi poznavanja števil drugih poročevalskih enot ali njihovih lastnosti znotraj prostorske enote.

Posredovanje podatkov na ravni prostorskih enot ni omejeno z velikostjo prostorske enote ampak z njihovo hierarhično ureditvijo (najnižja prostorska enota, za katero se posreduje podatke npr. iz Popisa 2002, je naselje), kar je pomembno pri iskanju najmanjše velikosti celice hierarhične mreže, za katero bi še posredovali podatek. Naslednje preglednice prikazujejo količine posredovanih podatkov za različne nivoje hierarhične mreže in ob upoštevanju različnih pragov zakrivanja podatkov. Pri izračunih za naselja velja, da je celica pripisana naselju, če je njen centroid znotraj meja naselja. Uporabljeni so bili podatki o številu državljanov Slovenije (brez začasno odsotnih, stanje 31. 12. 2004, CRP) in podatki o izobrazbi prebivalcev Slovenije (stanje 31. 03. 2002, Popis 2002).

Preglednica 1 prikazuje število in delež prikazanih podatkov o državljanih za Slovenijo in naselji Ljubljano ter Maribor za različne velikosti celic hierarhične mreže. Informacijo o površini dobimo iz števila celic, ki ustrezajo kriteriju vsaj 50 in več oseb v celici. Preglednica 2 prikazuje delež prikazanih podatkov o številu državljanov Slovenije glede na različne stopnje zakrivanja podatkov, preglednica 3 pa število in delež prikazanih podatkov o prebivalcih z višjo ali visoko izobrazbo. Delež prikazanih podatkov o številu poročevalskih enot ali njihovih lastnosti narašča z večanjem velikosti celice ali z nižanjem praga zakrivanja. Uporabnost vsakokratne razpoložljive prostorske natančnosti hierarhične mreže in količina prikazanih podatkov sta seveda odvisna od namena uporabe.

*Preglednica 1: Količina in delež prikazanih podatkov o številu državljanov v hierarhični mreži za Slovenijo ter naselji Ljubljana in Maribor (vir: CRP, 31. 12. 2004).*

	mreža 100 m × 100 m	mreža 250 m × 250 m	mreža 500 m × 500 m
število celic s 50 in več osebami – SLO	5567	7825	7069
število oseb v celicah – SLO	646.423 (33,1 % od vseh)	1.238.327 (63,5 % od vseh)	1.533.655 (78,6 % od vseh)
število celic s 50 in več osebami – LJ	1414	771	330
število oseb v celicah – LJ	183.103 (74,1 % od vseh)	237.945 (96,3 % od vseh)	244.689 (99,0 % od vseh)
število celic s 50 in več osebami – MB	541	275	106
število oseb v celicah – MB	69.346 (75,8 % od vseh)	88.532 (96,8 % od vseh)	90.441 (99,0 % od vseh)

Najmanjša velikost celice in prag zakrivanja za posredovanje podatkov uporabnikom zaenkrat še nista bila določena. Dejstvo je, da celica 100 m × 100 m (1 ha) predstavlja le dobro petino najmanjšega naselja v Sloveniji (Sveta Ana pri Ložu – 4,63 ha, občina Loška dolina), za katerega se ob upoštevanju popisnih pravil še prikazuje izbrane statistične podatke, vendar je z vidika položajne natančnosti najbolj primerna za načrtovanje upravljanja s prostorom v naseljih ali delih naselij. Izbira najmanjše velikosti celice je zelo pomembna, saj določa nadaljnjo hierarhijo velikosti celic. Manjše celice morajo sovpadati v večje, ker je v nasprotnem primeru mogoče s prekrivanjem mrež z različno velikimi celicami ugotoviti ali vsaj sklepati na vrednost v posameznem delu zakrite celice. Teoretično je tako mogoče ugotoviti vrednost tudi na površini manjši od 1 ha.

Preglednica 2: Delež prikazanih podatkov o številu državljanov Slovenije v hierarhični mreži (vir: CRP, 31. 12. 2004).

prag zakrivanja	delež od vseh oseb (mreža 100 m × 100 m)	delež od vseh oseb (mreža 1000 m × 1000 m)
= 3	97,97	99,96
= 5	92,33	99,88
= 10	76,53	99,49
= 15	66,04	98,93
= 20	58,22	98,21
= 25	51,82	97,43
= 30	45,62	96,53
= 50	33,1	92,44

Preglednica 3: Število in delež prikazanih podatkov o prebivalcih z višjo ali visoko izobrazbo (vir: SURS, Popis 2002).

velikost celice mreže (prag zakrivanja podatkov)	Ljubljana (% od vseh oseb z višjo ali visoko izobrazbo)	Maribor (% od vseh oseb z višjo ali visoko izobrazbo)
100 m × 100 m (= 3)	34.068 (62,9 %)	9270 (66,0 %)
250 m × 250 m (= 3)	52.469 (96,8 %)	14.038 (96,9 %)
100 m × 100 m (= 50)	11.737 (21,7 %)	1769 (12,6 %)
250 m × 250 m (= 50)	43.500 (80,3 %)	10.668 (76,0 %)

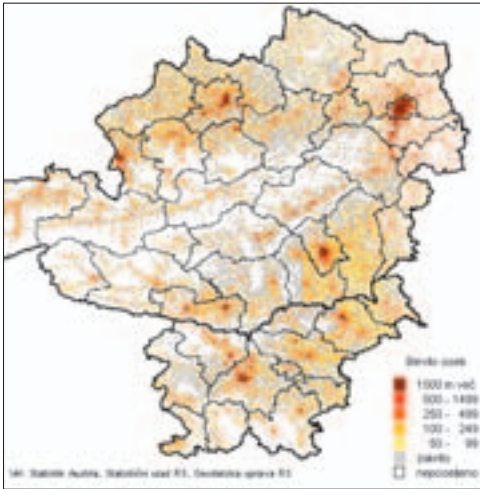
Če primerjamo deleže prikazanih podatkov v mreži 100 m × 100 m in upoštevamo kot prag zakrivanja najmanj tri osebe v celici, ugotovimo, da je mogoče prikazati skoraj 98 % državljanov Slovenije. Ta delež pa se ustrezno zmanjša, če upoštevamo kot prag zakrivanja več kot pet oseb v celici. Z upoštevanjem praga zakrivanja 50 ali več oseb v celici tako dobimo zgolj eno tretjino državljanov. Ta delež seveda narašča v gosteje poseljenih območjih, vendar tudi za Ljubljano in Maribor pokrijemo nad 95 % prebivalstva šele z mrežo 250 × 250 m. Ob predpostavki, da mora površina celic v naselju pokrivati vsaj 50 ha in da je v celici vsaj 50 prebivalcev, bi podatke v mreži 100 m × 100 m dobili za 16 naselij oziroma za 186 naselij v mreži 250 m × 250 m.

#### 4 Primer čezmejnega prikazovanja statističnih podatkov v hierarhični mreži

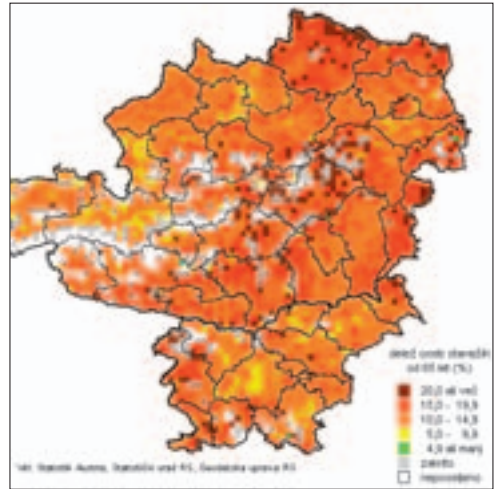
Meddržavno sodelovanje avstrijskega in slovenskega statističnega urada je potrdilo prednosti in uporabnost hierarhične mreže. V okviru študijskega obiska na avstrijskem statističnem uradu so bile izdelane prve čezmejne analize in kartografski prikazi z demografsko socialnimi in ekonomskimi podatki v hierarhični mreži.

V Avstriji so uporabnikom v hierarhični mreži na voljo popisni podatki iz leta 2001, njihov državni sistem hierarhične mreže pa ima šest nivojev z najmanjšo velikostjo celice 125 m × 125 m. Podatke o številu enot ne zakrivajo in jih prikazujejo na vseh ravneh mreže, medtem ko zakrivajo lastnosti teh enot in jih prikazujejo samo na mrežah s celicami velikosti 250 m × 250 m ali več. Podatki o lastnostih so prikazani, če je v celici najmanj 31 prebivalcev oziroma najmanj štiri stavbe, gospodinjstva ali stanovanja.

V čezmejni analizi podatkov je bila uporabljena avstrijska državna mreža v UTM projekciji raztegnjena preko ozemlja Slovenije. Avstrijska stran se je odločila, da bo uporabljena samo UTM zona 33,

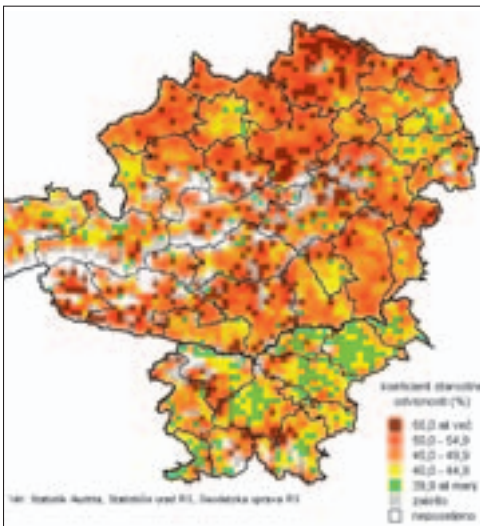


Slika 1: Število prebivalcev v mreži 1 km × 1 km, UTM 33, Avstrija (Popis 2001), Slovenija (Popis 2002), NUTS3.

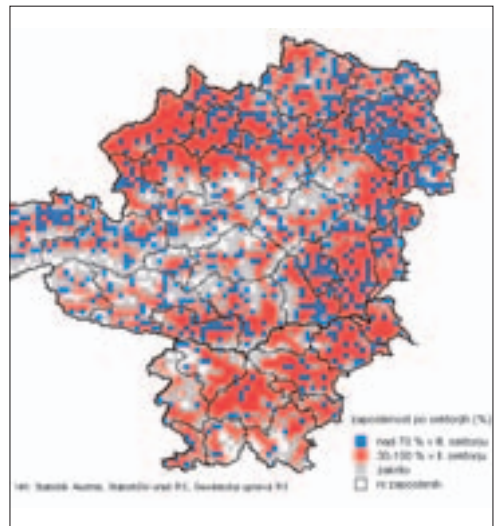


Slika 2: Delež oseb starejših od 65 let v mreži 5 km × 5 km, UTM 33, Avstrija (Popis 2001), Slovenija (Popis 2002), NUTS3.

zato je zahodni del Avstrije izključen. Obdelani so bili podatki o številu ter starostni strukturi prebivalstva (Avstrija: Popis 2001, Slovenija: Popis 2002) ter podatki o številu in strukturi zaposlenih glede na zaposlenost v sekundarnem oziroma terciarnem sektorju (Avstrija: Popis 2001, Slovenija: SRDAP 2001). V kartografskih prikazih je za obe državi upoštevana slovenska praksa zakrivanja podatkov v hierarhični mreži.



Slika 3: Koefficient starostne odvisnosti starih in mladih v mreži 5 km × 5 km, UTM 33, Avstrija (Popis 2001), Slovenija (Popis 2002), NUTS3.



Slika 4: Struktura zaposlenih po sektorjih v mreži 5 km × 5 km, UTM 33, Avstrija (Popis 2001), Slovenija (SRDAP, april 2001), NUTS3.

Rezultat meddržavnega sodelovanja so karte s prikazom obdelanih podatkov v različnih ravneh hierarhične mreže.

Slika 1 prikazuje število prebivalcev v mreži  $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ . Na osnovi te karte je bilo ugotovljeno sklenjeno poseljeno območje med državama, ki se razteza od avstrijskega Gradca do Maribora. Obe mesti se po merilih Eurostata uvrščata med gosto poseljena območja, saj število prebivalcev v celicah z gostoto prebivalstva večjo od  $500/\text{km}^2$ , presega 50.000. Med obema mestoma se razprostira območje s srednjo gostoto poselitve, kjer je število prebivalcev v celicah z gostoto najmanj  $100/\text{km}^2$ , prav tako večje od 50.000.

Za analizo starostne strukture prebivalstva je bila izbrana delitev prebivalstva glede na delež starejših od 65 let (Slika 2). Slednja deli prebivalstvo na mlado (do 5 % starejših od 65 let), zrelo (5–10 % starejših od 65 let) in staro prebivalstvo (nad 10 % starejših od 65 let). Ob splošnem trendu staranja prebivalstva v večini post-industrijskih držav je smiselno določiti tudi kategorijo zelo starega prebivalstva (nad 20 % starejših od 65 let) (Malačič 2003). Zaradi ugotovljenih razlik med državama v razredu starega prebivalstva (10–20 %) je na karti le-ta razdeljen v dva podrazreda (10–15 % in 15–20 %).

Koeficient starostne odvisnosti starih in mladih (prebivalstvo, staro 0–14 let in 65 let ali več, glede na prebivalstvo, staro 15–64 let) kaže socialno in ekonomsko strukturo prebivalstva (slika 3). Višja vrednost koeficienta pomeni večje število vzdrževanega prebivalstva. Zadnji podatki za leto 2004 kažejo, da sta imeli obe državi vrednost koeficienta pod evropskim povprečjem (EU 25: 48,9; News Release, 2005) in sicer Avstrija 46,7 (News Release, 2005) ter Slovenija 42,2 (SURs, 2004).

Slika 4 prikazuje strukturo zaposlenih po sektorjih. Prvi sektor zaradi nezdržljivosti podatkov ni bil vključen v analizo. Zaradi boljše ponazoritve razlik v strukturi zaposlenih med državama je karta izdelana iz dveh slojev. Spodnji sloj predstavlja celice z vsaj 50 zaposlenimi in je obarvan rdeče, zgornji pa predstavlja celice z več kot 70 % zaposlenih v terciarnem sektorju in je obarvan modro. V rdečih celicah je torej najmanj 30 % zaposlenih v sekundarnem sektorju.

Hierarhična mreža se je zaradi svojih lastnosti izkazala kot zelo primerna za čezmejne prostorske analize. Težave pa lahko pričakujemo v primeru različnih velikosti najmanjše celice hierarhične mreže posamezne države, saj jih slednje določajo glede na njihove značilnosti razporeditve pojavov v prostoru oziroma glede na pravila o zaščiti podatkov. Naslednji problem je združljivost obeh hierarhičnih mrež ob meji, saj ima vsaka država izbrano svoje izhodišče. V praksi se podatke pri meddržavnih prostorskih analizah običajno obdeluje in prikazuje v mreži z velikostjo celic vsaj  $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ , saj drugače kartografski prikazi izgubijo preglednost. Analize obmejnih območij seveda zahtevajo mrežo z višjo ločljivostjo ( $500 \text{ m} \times 500 \text{ m}$  in manj), zato se v tem primeru uporablja podatke, ki jih obe državi ne zakrivata ali pa se uporabi višji prag zakrivanja podatkov. Z vidika izvajanja podobnih meddržavnih prostorskih analiz bo zato dobrodošel vseevropski sistem hierarhične mreže, ki bo vzpostavljen s sprejetjem direktive INSPIRE.

## 5 Sklep

Sistem hierarhične mreže se je v nekaterih evropskih statističnih uradih uveljavil kot primerna oblika posredovanja statističnih podatkov, namenjenih predvsem uporabnikom GIS-sistemov. Glavni prednosti sta zadovoljiva položajna natančnost, enostaven dostop ter ustrezna zaščita zaupnosti poročevalskih enot. SURs zaenkrat še ni sprejel dokončne odločitve glede posredovanja podatkov v tej obliki, kot ustreza za Slovenijo pa se kaže ista politika zaščite podatkov, kot velja za prikazovanje v tabelah v primeru Popisa 2002, ter določitev hierarhije mreže z velikostjo najmanjše celice  $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ . Nadaljnja razprava bo povezana predvsem z zakonskimi določili povezanimi z zaščito statističnih podatkov ter izvedba direktive INSPIRE. Zagotovo pa poslanstvo državne statistike z GIS-sistemi dobiva novo dimenzijo, ki je skladna z njeno vizijo o enostavni dostopnosti ter uporabnosti statističnih podatkov.

## 6 Viri in literatura

Backer, L. H. 1999: Use of grids to improve the comparability of statistical data. Meeting of the Working Party »GIS for Statistics«, Luxembourg.

Malačič, J. 2003: Demografija: teorija, analiza metode in modeli. Ljubljana.

Population projections 2004–2050. News Release, Eurostat, 48/2005.

Zakon o državni statistiki. Uradni list RS, št. 45/95 in 9/2001.

Spletna stran SURS: <http://www.stat.si/>

## UPORABA GIS-A PRI CONACIJI OBMOČIJ NATURA 2000

**Matej Petkovšek in Mojca Tomažič**

Zavod Republike Slovenije za varstvo narave, OE Celje

Opekarniška cesta 2, 3000 Celje

*matej.petkovsek@zrsvn.si, mojca.tomazic@zrsvn.si*

**Damjan Vrčec**

Zavod Republike Slovenije za varstvo narave

Dunajska cesta 22, 1000 Ljubljana

*damjan.vrcec@zrsvn.si*

UDK: 502:659.2:004

### IZVLEČEK

#### **Uporaba GIS-a pri conaciji območij Natura 2000**

Projekt conacije ekološkega omrežja Natura 2000 v Sloveniji je bila ena izmed nalog Zavoda RS za varstvo narave v letu 2005. S conacijo so se znotraj območij Natura 2000 določili pomembnejši deli habitatov, kar omogoča bolj kakovostno vključevanje varstva biotske raznovrstnosti v prostorsko načrtovanje ter preglednejše spremljanje stanja na teh območjih. V prispevku je prikazana uporaba GIS orodij za izvedbo conacije.

### KLJUČNE BESEDE

Natura 2000, conacija, geografski informacijski sistem, varstvene usmeritve

### ABSTRACT

#### **Use of GIS for zoning Natura 2000 sites**

The project of zoning the ecological network Natura 2000 in Slovenia was one of the tasks of The Institute of the Republic of Slovenia for Nature Conservation in 2005. The more important parts of habitats were determined by zoning and as a result of this a more quality incorporation of the biodiversity conservation into the spatial planning is being possible as well as a more transparent monitoring on the sites. The use of the GIS tools for the implementation of zoning is presented in the following article.

### KEYWORDS

Natura 2000, zoning, geographic information system, biodiversity conservation guidelines



## 1 Uvod

Z vstopom v Evropsko unijo je Slovenija morala prevzeti del evropske zakonodaje tudi na področju varovanja narave. Posledica implementacije dveh evropskih direktiv s področja ohranjanja narave (Direktiva o pticah, Direktiva o habitatih) je določitev dobrih 34 % ozemlja Slovenije za posebno varstveno območje na področju ohranjanja narave. Za ta območja je potrebno pripraviti ustrezne varstvene usmeritve, ki bodo omogočale ohranjanje ugodnega stanja vrst in habitatnih tipov, zaradi katerih so bila določena. Hkrati jih je potrebno vključevati tudi v prostorske akte ter akte rabe naravnih dobrin, kjer se določijo ustrezna izhodišča, usmeritve in pogoji varstva. Zaradi lažjega določanja konkretnih usmeritev in v izogib nepotrebnim konfliktom v prostoru, predvsem pri rabi in posegih v prostor, je bilo potrebno določiti notranje cone posameznih območij Natura 2000 glede na razširjenost posameznih vrst in habitatnih tipov. Pri pripravi notranjih con območij Natura 2000, ki sta jih pripravila Zavod RS za varstvo narave in Društvo za opazovanje in proučevanje ptic Slovenije, je bila uporaba sodobnih GIS orodij neobhodno potrebna.

## 2 Natura 2000

Natura 2000 je evropsko omrežje ekološko pomembnih območij narave, namenjeno ohranjanju evropsko pomembnih vrst in habitatnih tipov. Združuje in povezuje dva tipa območij. Omrežje sestavljajo posebna območja varstva (Special Protection Area – SPA) opredeljena na podlagi Direktive o pticah in posebna varstvena območja (Special Areas of Conservation – SAC) opredeljena na podlagi direktive o habitatih.

### 2.1 Določanje območij Natura 2000

Območja Natura 2000 so se določila na dva načina. Posebna območja varstva (SPA) opredeli in jim določi pravni status vsaka država članica na podlagi Direktive o pticah ter o tem obvesti Evropsko komisijo. S tem postanejo ta območja neposredno del omrežja Natura 2000. Pri določanju območij po Direktivi o habitatih je postopek bolj zapleten. Vsaka država članica v prvi fazi po merilih in postopku, opisanih v prilogi III Direktive o habitatih, najprej pripravi predlog območij, pomembnih za skupnost (pSCI). Predlog potrdi ustrezen državni organ. Sledi niz preverjanj seznama predlaganih območij, najprej po formalni plati, če so podatki v obrazcih ustrezno izpolnjeni. Temu sledi vsebinsko preverjanje, predvsem zadostnost predlogov z državnega seznama. Pri tem so večje obveznosti države do tistih vrst in habitatnih tipov, ki so pretežno razširjene na ozemlju posamezne države (Skoberne 2003). Sledi vrednotenje na ravni Evropske unije znotraj posamezne biogeografske regije in usklajevanje z vsako državo članico. Navadno gre za dopolnjevanje predlogov. Po uskladitvi postanejo območja pomembna za Skupnost (SCI), ki jih nato vsaka država članica določi kot posebna ohranitvena območja (SAC) (Skoberne, 2004).

Obveznosti držav članic do območij Natura 2000 so določene v 6. členu direktive o habitatih in sicer:

1. določiti je potrebno ohranitvene ukrepe (Zakon o ohranjanju narave Zavodu RS za varstvo narave kot organizaciji, pristojni za ohranjanje narave, nalaga varstvo biotske raznovrstnosti, kamor sodijo tudi območja Natura 2000. Zavod ohranjanje ugodnega stanja vrst in habitatnih tipov zagotavlja skozi varstvene usmeritve.), ki po potrebi vključujejo ustrezne načrte upravljanja ter ustrezne zakonske, upravne ali pogodbene ukrepe, ki ustrezajo ekološkim zahtevam naravnih habitatnih tipov in vrst navedenih v prilogah I in II direktive o habitatih;
2. preprečevati slabšanje stanja habitatov in vrst, zaradi katerih je območje opredeljeno;
3. vsak načrt ali poseg, ki ni neposredno povezan z upravljanjem območja ali zanj potreben, pa bi sam ali v povezavi z drugimi načrti ali posegi lahko pomembno vplival na območje, je treba presojeti glede na njegove posledice na cilje ohranjanja območja.

Posamezna območja Natura 2000 so večinoma določena zaradi varovanja in ohranjanja ugodnega stanja več rastlinskih in/ali živalskih vrst ter habitatnih tipov. Posamezna vrsta ali habitatni tip se ne pojavlja na celotnem območju Natura 2000. Nahaja se le na delu določenega območja. Iz tega sledi, da je izpolnjevanje obveznosti, ki jih narekuje direktiva o habitatih učinkovitejše, če je območje razdeljeno na posamezne cone, kot pa, da se obravnava kot celota.

## 2.2 Območja Natura 2000 v Sloveniji

Slovenija je morala določiti območja Natura 2000 do vstopa v Evropsko unijo kot del prilagajanja slovenske zakonodaje zakonodaji Evropske unije. Po direktivi o pticah je bilo določenih 26 območij, kjer se varujejo habitati 102 vrst ptic. Na podlagi direktive o habitatih pa je bilo določenih 260 območij, kjer se varujejo in ohranjajo habitati 106 vrst živali in rastlin ter 56 habitatnih tipov v ugodnem stanju. Območja Natura 2000 pokrivajo kar dobrih 34 % ozemlja Slovenije. Na tretjini Slovenskega ozemlja je tako treba določiti varstvene usmeritve, ki ustrezajo ekološkim zahtevam naravnih habitatnih tipov in vrst, zaradi katerih so območja določena. Prav tako je treba presojati vsak načrt ali poseg, ki bi sam ali v povezavi z drugimi načrti ali posegi lahko pomembno vplival na območje. S presojo se ugotovijo vplivi (dejanski in pričakovani) ter sprejemljivost izvedbe le-teh na varstvene cilje ohranjanja določenega območja Natura 2000 ter celovitost in povezanost posameznega območja. V primeru, da se območje Natura 2000 obravnava kot celota, je potrebno presoje načrtov in posegov izvajati za vse vrste in habitatne tipe, zaradi katerih je območje določeno. To lahko pomeni tudi podaljšanje nekaterih postopkov pri prostorskem planiranju ali pri pridobivanju dokumentacije za posege. V primeru, da bi bilo za vsako vrsto ali habitatni tip določeno pravo območje razširjenosti, bi to omogočilo boljše pripravo konkretnih varstvenih usmeritev za posamezno vrsto ali habitatni tip. To je bil tudi eden izmed ključnih razlogov, da je Zavod RS za varstvo narave leta 2005 pristopil k določitvi notranjih območij (con) Natura 2000.

## 3 Conacija območij Natura 2000 v Sloveniji

Conacija območij Natura 2000 (opredeljevanje notranjih območij (con) za območja Natura 2000), ki sta jo izvedla Zavod RS za varstvo narave in Društvo za opazovanje in proučevanje ptic Slovenije, je bila izvedena na podlagi Uredbe o posebnih varstvenih območjih (območjih Natura 2000). Ta uredba določa, da se znotraj območja Natura 2000 lahko določijo notranja območja oz. cone, s katerimi se prostorsko opredelijo tisti deli območja, ki so bistveni deli življenjskih prostorov posameznih rastlinskih ali živalskih vrst ter posameznih habitatnih tipov, zaradi katerih je območje Natura 2000 opredeljeno.

Zavod RS za varstvo narave je projekt conacije izvedel tekom leta 2005 in sicer za vsa območja pSCI in za enajst območij SPA. Za ostala območja je conacijo pripravil DOPPS. Conacija je bila v celoti izvedena s pomočjo GIS orodij Arc View 3.1 in Arc View 8.3. Vhodne podatke, na katerih je temeljila conacija, so predstavljali podatki iz strokovnih podlag, pripravljenih za vzpostavitev območij Natura 2000. Ti podatki so se prekrivali in analizirali s podatki o kmetijski rabi zemljišč, poplavnih območjih, nadmorski višini in obstoječimi podatki o kartiranju habitatnih tipov. Pri risanju con so se uporabljali tudi digitalni ortofoto posnetki, digitalni kataster, geološka karta ter digitalni topografski načrti, večinoma v merilu 1 : 5.000 in 1 : 10.000. Uporabljena GIS orodja so omogočila oz. bistveno olajšala izvedbo navedene strokovne naloge, predvsem opredeljevanje posameznih con, njihovo kartografsko prikazovanje, analizo in kritično presojo z različnih vidikov.

Opredeljevanje posameznih con je bilo oteženo zaradi različne raziskanosti razširjenosti posameznih vrst in habitatnih tipov ter različnega poznavanja ekoloških zahtev vrst. Zato je bilo treba cone modelirati, postopek coniranja pa je potekal na tri načine:

1. V primeru popolnih podatkov, dobrega poznavanja terena in ekoloških zahtev vrste ter izvedene kartiranja habitatnih tipov, so bile cone narisane tako, da predstavljajo dejanski habitat vrste oziroma območje nahajanja habitatnega tipa.

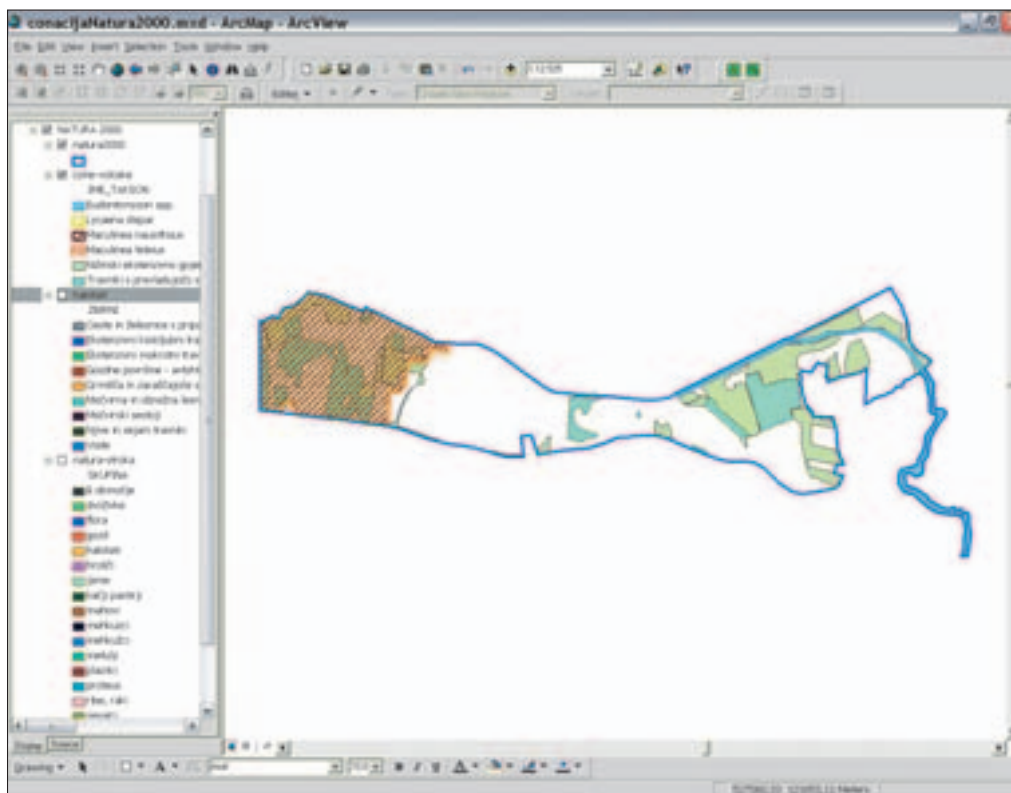
2. Kjer so bili na razpolago le delni podatki o razširjenosti vrst in habitatnih tipov, ekološke zahteve vrst pa slabo definirane, so cone narisane po principu izločanja. Iz cone so bila izločena vsa tista območja, ki ne izpolnjujejo ekoloških zahtev vrste ali pogojev za nahajanje habitatnega tipa.
3. Kadar so bili vhodni podatki zelo slabi, se je kot cona določilo celotno območje pSCI.

Na podlagi zgoraj opredeljene metode se je za 208 rastlinskih in živalskih vrst ter 56 habitatnih tipov na 286 območjih Natura 2000 opredelilo 1632 con. Velikost con je zelo različna, od slabih 200 m<sup>2</sup> do preko 1000 km<sup>2</sup>. Cone se na posameznem območju Natura 2000 lahko prekrivajo, odvisno od območja razširjenosti posamezne vrste oz. habitatnega tipa. Ker so v cone vključeni le pomembnejši deli habitatov vrst in habitatnih tipov, so lahko deli območij Natura 2000 prazni – brez con.

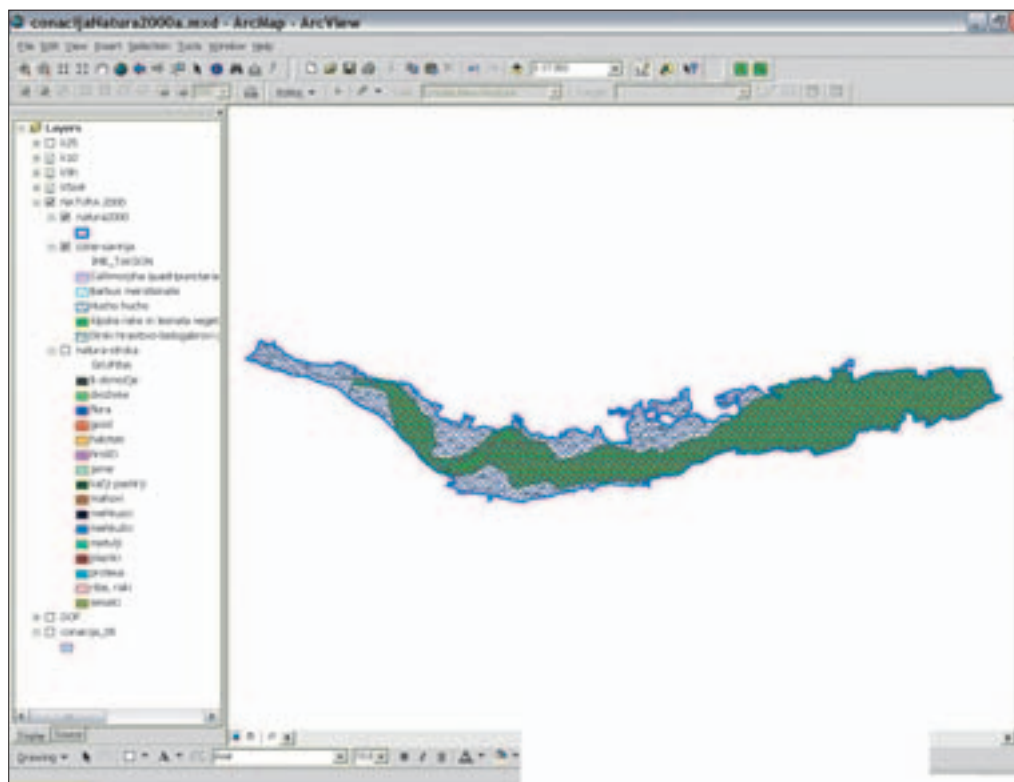
### 3.1 Prikaz conacije dveh območij Natura 2000

V nadaljevanju bomo prikazali dva primera conacije območij Natura 2000 na podlagi različno kakovostnih vhodnih podatkov.

Območje Natura 2000 Volčke je bilo določeno zaradi ohranjanja ugodnega stanja štirih vrst živali in dveh habitatnih tipov. Na območju so bili skartirani habitatni tipi (Kotarac, 2001), v strokovnih podlagah za določitev območij Natura 2000 (Čelik in sod., 2005) pa so bili relativno dobri podatki o razširjenosti treh vrst živali. Conacija habitatnih tipov se je izvajala na podlagi rezultatov kartiranja habitatnih tipov. Poligoni, ki so ustrezali posameznemu habitatnemu tipu, so bili povzeti kot cona za ta habitatni tip. Pri živalskih skupinah pa je conacija temeljila na analizi podatkov, dobljenih s kartiranjem habitatnih



Slika 1: Conacija območja Natura 2000 (Volčke) z dobrimi vhodnimi podatki.



Slika 2: Conacija območja Natura 2000 (Savinja pri Šentjanžu) s slabimi vhodnimi podatki.

tipov in podatkov iz strokovnih podlag za določitev območij Natura 2000. Za določitev cone smo prekrili oba sloja in določili območja kot notranjo cono vrste, kjer so se podatki o razširjenosti posamezne vrste prekrivali z za vrsto ustreznimi habitatnimi tipi. Tako dobljene cone dejansko predstavljajo območja, ki jih je potrebno varovati za ohranjanje ugodnega stanja posamezne vrste ali habitatnega tipa, zaradi katerega je bilo območje Natura 2000 določeno. Rezultat takšnega načina določevanja con je tudi relativno veliko območje, ki ne predstavlja notranje cone za nobeno vrsto ali habitatni tip.

Območje Natura 2000 Savinja pri Šentjanžu je bilo določeno zaradi ohranjanja ugodnega stanja treh vrst živali in enega habitatnega tipa. Popis habitatnih tipov za to območje ni bil narejen, podatki v strokovnih podlagah za določitev območij Natura 2000 (Bertok, 2003) pa tudi niso bili dovolj natančni, da bi lahko določili notranje cone za posamezne vrste na način, kot v prvem primeru. Zato smo si pri določanju notranje cone za habitatni tip pomagali z digitalnim ortofoto posnetkom, medtem ko smo za notranje cone živalskih vrst vzeli celotno območje Natura 2000. V tem primeru je celotno območje Natura 2000 pokrito vsaj z eno notranjo cono, ki pa ne odraža povsem dejanskega stanja, zato se bodo meje teh con ob pridobivanju novih strokovnih podatkov še spremenile.

## 4 Sklep

Conacija območij Natura 2000, ki sta jo pripravila Zavod RS za varstvo narave in Društvo za opazovanje in proučevanje ptic Slovenije bo služila za pripravo varstvenih usmeritev za ohranjanje in

vzpostavitev ugodnega stanja vrst in habitatnih tipov, zaradi katerih so določena posamezna območja Natura 2000. Zavod RS za varstvo narave jo uporablja pri pripravi naravovarstvenih smernic, s katerimi se vključuje v načrtovanje prostorskih aktov in aktov za rabo naravnih dobrin. Conacija je v veliko pomoč tudi strokovnjakom pri pripravi strokovnih mnenj za različne posege na območjih Natura 2000 in nena zadnje tudi pri seznanjanju ljudi o pomenu ohranjanja ugodnega stanja rastlinskih in živalskih vrst ter habitatnih tipov na območjih Natura 2000.

Pozitivne spremembe v naravi, ki jih lahko povzročijo naravni procesi, različni posegi, ali druga ravnanja v prostoru, ki izboljšajo stanja posameznih vrst bodo vplivale na spreminjanje meje con. Meje se bodo spreminjale s pridobivanjem novih strokovnih podatkov ali na podlagi novih dejstev na terenu.

Rezultati conacije območij Natura 2000 bodo objavljeni skupaj z drugimi naravovarstvenimi vsebinami tudi na svetovnem spletu (interaktivni naravovarstveni atlas), kjer bodo dostopni vsej zainteresirani javnosti.

## 5 Viri in literatura

- Bertok, M. 2003: Strokovne osnove za vzpostavljanje omrežja Natura 2000 – ribe, piškurji, raki desetonožci. Zavod za ribištvo Slovenije. Ljubljana.
- Council Directive 79/409/EEC on the conservation of wild birds.
- Council Directive 92/43/EEC on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora.
- Čelik, T., Verovnik, R., Gomboc, S., Lasan, M. 2005: Natura 2000 v Sloveniji – Metulji (*Lepidoptera*). Založba ZRC, ZRC SAZU. Ljubljana.
- Kotarac, M. 2001: Kartiranje in vrednotenje habitatnih tipov na območju Mestne občine Celje. Center za kartografijo favne in flore. Miklavž na Dravskem polju.
- Pravilnik o presoji sprejemljivosti vplivov izvedbe planov in posegov v naravo na varovana območja. Uradni list RS, št. 130/04.
- Skoberne, P. 2003: Natura 2000 – del vseevropskega ekološkega omrežja. V: Gozdarska politika varovanih območij: zbornik ob posvetovanju. Krajčič D. (ur.). Ljubljana, Gospodarska zbornica Slovenije, Združenje za gozdarstvo: 65–78.
- Skoberne, P. 2004: Pregled mednarodnih organizacij in predpisov s področja varstva narave 2004. Ministrstvo za okolje, prostor in energijo. Ljubljana.
- Uredba o posebnih varstvenih območjih (območjih Natura 2000). Uradni list RS, št. 49/04 in 110/04.

# INTEGRIRANA UPORABA GLOBALNEGA SISTEMA POZICIONIRANJA IN DIGITALNIH RADIJSKIH ZVEZ V SLOVENSKE POLICIJI

**Tomislav Iskra**

Ministrstvo za notranje zadeve  
Generalna policijska uprava  
Operativno-komunikacijski center  
Štefanova ulica 2, 1000 Ljubljana  
tomislav.iskra@policija.si

UDK: 351.741:659.2:004(497.4)

## IZVLEČEK

**Integrirana uporaba globalnega sistema pozicioniranja in digitalnih radijskih zvez v Slovenski policiji**  
Navigacijski sistemi doživljajo v svetu velik razvoj. Vzpostavitev digitalnih radijskih zvez TETRA omogoča prenos podatkov med radijskimi postajami z vgrajenim GPS sprejemnikom in prikaz njihovih lokacij v geografskih informacijskih sistemih. Za srečanje delegacij držav Organizacije za varnost in sodelovanje v Evropi smo za potrebe varovanja postavili sistem za spremljanje vozil zasnova na GPS tehnologiji.

## KLJUČNE BESEDE

globalni sistem pozicioniranja, policija, digitalno radijsko omrežje TETRA, spremljanje vozil, interventni dogodki, načrtovanje akcij

## ABSTRACT

**Integrated use of global position system and digital radio network in Slovenian police**  
Navigation systems are in great progress in today's world. Setting up a digital radio communication enables data sending among radio stations with build in GPS receiver and reviewing their locations in geographical information system. For the purpose of meeting of Organization for Security and Co-operation in Europe we set up a system for automatic vehicle location based on GPS technology.

## KEYWORDS

global position system, police, digital radio network TETRA, automatic vehicle location, intervene events, action planning

## 1 Uvod

V policiji stalno spremljamo razvoj na informacijskem in telekomunikacijskem področju in smo na nekaterih področjih tudi med prvimi v RS, ki posamezne rešitve uporabimo v praksi. Transport in avtomobilska industrija izvajata na tem področju največje korake. V Slovenski policiji imamo nekaj GPS sprejemnikov že v uporabi, zavedamo pa se, da bo to področje doživelo velik razvoj, ki ga ne želimo zamuditi.

V članku bom predstavil sistem, ki je bil uporabljen ob srečanju delegacij članic Organizacije za varnost in sodelovanje v Evropi (OVSE) v Ljubljani konec leta 2005, saj je ta sistem trenutno najbolj dovršen in vključuje široko paleto informacijske in telekomunikacijske opreme. Pri izgradnji sistema smo bili omejeni na opremo in programe, ki smo jih že imeli na razpolago, saj zaradi časovne in finančnih omejitev ni bilo možno pridobiti dodatne opreme.

## 2 Zgradba sistema

Za potrebe operativnega dela policije, predvsem ob večjih akcijah, so trenutni položaji policijskih enot in dogodkov povezanih z obravnavano akcijo ključnega pomena. S tem namenom se vodijo operativne karte v GIS-u ali v obliki tiskanih zemljevidov. Spremljanje premikov policijskih enot je do sedaj poteklo preko sporočanja lokacije s strani posameznih enot in njihov vnos na operativne karte. To je zahtevalo veliko operativnega dela na karti, problem pa se pojavi tudi v ažurnosti lokacije, saj je na operativnim zemljevidu vrisana zadnja sporočena lokacija, ki pa ni nujno tudi trenutna lokacija enote.

Pri Slovenski policiji smo trenutno v fazi prehoda iz analogne radijske komunikacije v digitalno, kar pomeni tudi kakovosten prehod v načinu komuniciranja. Sistem je podrobneje opisan v nadaljevanju, za nas pa je pomembno, da nam omogoča tudi zajem, pretvorbo in prenos GPS signala.

V okviru izgradnje digitalnega radijskega sistema, so bile zagotovljene ročne radijske postaje, z že vgrajenimi GPS sprejemniki. Srečanje delegacij članic OVSE, je bila prva priložnost, da z obstoječo strojno in aplikativno opremo ter znanjem, ki smo si ga pridobili v preteklosti, vzpostavimo sistem za samodejno pozicioniranje policijskih enot. V času dveh mesecev, smo vzpostavili sistem, prikazan na sliki.



Slika 1: Shematski prikaz zgradbe sistema pozicioniranja »od satelita do zaslona«.



Slika 2: Shematski prikaz določitve lokacije sprejemnika.

Ročna radijska postaja sprejema signale z GPS satelitov in s pomočjo 3D-trilateracija izračuna lasten položaj. Podatke o položaju pošlje v obliki kratkega sporočila (SDS podobno kot SMS v mobilni telefoniji), preko sistema baznih postaj, do sprejemne postaje. Podatek o položaju se nato s pomočjo programa Hyper Terminal zapiše v datoteko na strežniku. Zapis za posamezni položaj vsebuje več informacij, za nas pa so pomembne identifikacija postaje, položajne koordinate ter čas. Zapis je potrebno najprej pretvoriti iz heksadecimalne oblike v ASCII in izločiti iskane parametre. Koordinate je potrebno nato pretvoriti v Gauss-Krugerjev koordinatni sistem. Podatke o posamezni lokaciji se zapiše v ciljno datoteko v obliki podatkov: identifikacija postaje, X-koordinata, Y-koordinata, čas. Do te datoteke imajo dostop GIS delovne postaje preko računalniškega omrežja. Program v okolju GIS iz obravnavane datoteke bere podatke o lokacijah in jih prikazuje na rastrski podlagi. Na delovnih postajah je možno izbirati, katere enote bomo prikazovali, prav tako pa je razviden njihov status (je/ni GPS signal, je/ni komunikacije s TETRA omrežjem).

## 2.1 Digitalno radijsko omrežje TETRA

Kratica TETRA je prvobitno pomenila Trans-European Trunked RAdio, kar pomeni Vsevropski sistem radijskih zvez. Ker pa se je omenjena tehnologija začela uporabljati tudi drugod po svetu so preimenovali ime v TERrestrial Trunked RAdio, kar bi v prevodu pomenilo Prizemeljske radijske zveze. Sistem predstavlja prvi resnično odprti digitalni standard za zasebna radijska omrežja, ki ga je definiral Evropski standardizacijski inštitut za telekomunikacije (European Telecommunications Standards Institute – ETSI).

Podobno kot analogna omrežja za mobilno telefonijo (NMT, TACS), ki jih je nadomestil digitalni sistem (GSM) se dogaja tudi v zasebnih radijskih omrežjih, kjer se analogni sistemi zamenjujejo z digitalnimi, ki pa so zasnovani na standardih. Postopki standardizacije pomenijo zaščito uporabnikov, kakor tudi proizvajalcev. Digitalizacija radijskega signala pomeni kvalitativen preskok, kar se danes kaže tudi na drugih tehničnih področjih (npr. glasba, fiksna in mobilna telefonija, televizija). Pri sistemu TETRA zasledimo celično tehnologijo pokrivanja geografskega področja z radijskim signalom. Vse bazne postaje, ki pokrivajo določene celice, so povezane z glavnim krmilnikom sistema.

Morda se bo kdo vprašal, zakaj sistemi mobilne telefonije niso primerni za javno varnost? Obstaja precejšnja razlika med digitalnimi profesionalnimi omrežji TETRA, ki so načrtovana za uporabnike javne varnosti, ter omrežji operaterjev digitalne mobilne telefonije. S tehničnega vidika, so mobilna telefonska omrežja predvsem namenjena za zveze točka – točka (individualni klici) in ne za skupinske klice. Čas vzpostavitve zveze je predolg, zelo omejena je dispečerska funkcionalnost (v naših omrežjih jo uporabljajo Operativno-komunikacijski centri), ni možna neposredna zveza (brez posredovanja infrastrukture, t. i. simpleks), zelo malo mobilnih terminalov je robustnih. Prisotne pa so še nekatere operativne pomanjkljivosti kot na primer: zasedenost in nedostopnost omrežja ob izrednih dogodkih (večje nesreče, teroristični napadi, velike javne prireditve, nekateri praznični termini), nadzor nad omrežjem in uporabniki je v pristojnosti operaterja, vse informacije so zaščitene.

Obstoječa analogna radijska omrežja vseh državnih organov v RS so po svoji zasnovi že zastarela in imajo zaradi tega različne tehnične slabosti. Digitalni radijski sistemi odpravljajo pomanjkljivosti analognih okolij in s tem zagotavljajo uporabnikom dodatne funkcionalnosti. Osnovne značilnosti analognih in digitalnih sistemov so opisane v nadaljevanju.

Analogni sistemi ne nudijo kvalitetne zaščite (enkripcije) informacij, kar predstavlja pomemben varnostni vidik, saj so lahko s policijskega vidika nekatere operativne akcije zaradi prisluškovanja nepooblaščenih neuspešno izvedene. To je tudi pomanjkljivost glede na splošno obveznost upoštevanja predpisov o varovanju osebnih podatkov. Večji del komunikacije analognih sistemov je namreč nezaščiten in z zelo enostavnimi tehničnimi sredstvi (radijski sprejemniki) lahko pride do odtekanja ali zlorabe podatkov. Digitalni sistemi to veliko pomanjkljivost odpravljajo, ker imajo različne nivoje zaščite (avtentikacija, kriptiranje radijskega vmesnika in tudi kriptiranje znotraj omrežja). S tem imajo končni uporabniki na terenu zagotovljeno izboljšano osebno varnost.



Analogna omrežja sicer omogočajo podatkovne aplikacije, ki pa zaradi prenosnih hitrosti in tehničnih rešitev ne odgovarjajo zdajšnjim pogojem delovanja in zahtevam uporabnikov. Digitalni sistem omogoča bistveno boljše podatkovne komunikacije, kot so prenos velikega nabora pred-definiranih statusov, kratkih sporočil – SDS datotek (npr. slik) in dostop do Intraneta.

Različnih obstoječih analognih omrežij in s tem tudi uporabniških skupin ni možno enostavno povezovati med seboj. Tako ob izrednih razmerah (naravne nesreče) ali ob večjih prireditvah ni neposredne komunikacije med angažiranimi službami, ki prihajajo iz ločenih državnih organov. Obstoječi analogni sistemi imajo veliko pomanjkljivost v razdrobljenosti in medsebojni nekompatibilnosti. TETRA sistem omogoča neposredno komunikacijo med različnimi uporabniškimi skupinami, seveda ob predhodnem dovoljenju. Prav tako je razlika tudi v načinu izgradnje infrastrukture, saj se za državne organe vzpostavi le eno digitalno omrežje, kar pomeni veliko racionalizacijo, posamezne skupine uporabnikov pa lahko potem delujejo neodvisno druga od druge, v lastnem navideznem omrežju.

Analogna omrežja ne omogočajo novih nadgradenj in uvajanja dodatnih funkcionalnosti, ki jih želijo končni uporabniki. Predvsem je dalj že časa izražena zahteva po samodejnem pozicioniranju lastnih vozil. Digitalni sistemi in del naprav omogočajo pozicioniranje pešcev (izven stavb), kar zopet pomeni izboljšanje osebne varnosti uporabnikov. Skupaj z operativnimi uporabniškimi skupinami policije se že pripravljamo na izvedbo projekta vzpostavitve stalnega pozicioniranja vozil s pomočjo GPS satelitov.

Dodatna prednost digitalnega sistema je, da ta omogoča poleg skupinske komunikacije, ki je edina možna v analognih sistemih, tudi samodejno individualno in telefonsko zvezo (povezava točka – točka).

Digitalni sistemi TETRA omogočajo lažje koordiniranje akcij, ki potekajo na večjem geografskem območju. Uporabnikom na svojih radijskih terminalih ni več potrebno nastavljati kanalov (frekvenc), ampak le izberejo ustrezno delovno skupino. Postaja se samodejno prijavi v omrežje in v primeru migracije na novo območje, se samodejno prijavi v novo celico oz. bazno postajo (podobno kot GSM).

V digitalnem omrežju TETRA je s osrednje lokacije možno nadzirati delovanje celotnega omrežja in v primeru okvar posredovati rešitve v zelo kratkem času. Prav tako se na centralni opremi konfigurira vse nastavitve za posamezne radijske terminale, na primer lahko se ukraden radijski terminal tudi onemogoči.

V analognih sistemih prihaja do motenj zaradi zelo otežene frekvenčne koordinacije s sosednjimi državami v večjem številu radijskih pasov. S tem je zelo oteženo, včasih celo onemogočeno, delovanje uporabnikov v obmejnih področjih. Frekvence digitalnega sistema TETRA so meddržavno koordinirane, s čimer se bistveno zmanjša vpliv frekvenčnih motenj. Koordinacija frekvenc digitalnih omrežij je bila lažje izvedljiva zato, ker je NATO sprostil del frekvenčnih spektrov (380–400 MHz) za potrebe javne varnosti v Evropi.

### 3 Uporaba v policiji

V policiji smo GPS navigacijske sisteme v manjši meri začeli uporabljati že pred nekaj leti. Gre predvsem za samostojne sprejemnike, ki so namenjeni predvsem navigaciji. Nekateri od njih so povezani z namenskimi aplikacijami na prenosnih računalnikih. Testirali smo sisteme, ki so preko omrežij mobilne telefonije omogočali pregled lokacij v operativnih centrih. Vendar so bile naveden rešitve varnostno in cenovno neprimerne. Z vzpostavitvijo digitalnih radijskih zvez TETRA smo dobili komunikacijski medij, ki omogoča vzpostavitev varnega in stroškovno ugodnega sistema. Prva operativna priložnost za vzpostavitev in preizkus opisanega sistema je bilo srečanje članic OVSE v Ljubljani konec leta 2005.

#### 3.1 Vzpostavitev sistema ob srečanju OVSE

Namen sistema je bil pregled nad lokacijami vozil mednarodnih delegacij oziroma konvojev delegacij, ki so prihajale na srečanje v prostore gospodarskega razstavišča. Zaradi omejenega števila postaj

smo postaje namenili operativno bolj zanimivim delegacijam oziroma konvojem pri čemer je sistem omogočal centralni nadzor in hitro prilagoditev dejanskemu stanju. Natančno poznavanje lokacij je imelo tudi pomembno vlogo pri usklajevanju prihoda delegacij na sprejem, saj so morale delegacije, v skladu s protokolom, priti v pravilnem zaporedju in časovnem razmiku.

### 3.2 Opis operativnih težav in pridobljenih izkušenj

Pri izgradnji in uporabi sistema smo se srečali s številnimi ovirami in težavami. Prav tako smo pridobili izkušnje za nadaljnjo izgradnjo stalnega sistema navigacije in spremljanja enot v policiji.

Ročne postaje Motorola sprejemajo GPS signal in izračunajo položaj sprejemnika, ni pa mogoče podatkov o položaju možno posredovati na drugo postajo, saj se to funkcionalnost vklopiti izključno proti doplačilu. Postaje znamke Sepura ne omogočajo prenosa podatkov iz datoteke celotnega prometa radijskega sistema niti ne omogočajo pridobitve podatkov o položaju. Rešitev so bila kratka sporočila, ki pa so dodatno bremenila pretočnost omrežja. Težave so se pojavile tudi pri vozilih delegacij v vgrajenimi termičnimi stekli, saj so delovala kot Faradayeva kletka. Zato smo postavili postaje v spremljevalna vozila. Pri nadgradnji sistema je v ta namen potrebno uporabiti zunanje antene, ki jih je možno pritrditi na zunanost vozila, prav tako pa je potrebno zagotoviti avtomobilsko napajanje naprave.

Pri prikazu podatkov je potrebno poleg identifikacije postaje, prikazati še druga stanja sistema kot sta odsotnost GPS signala in odsotnost komunikacije ter ostale informacije o enoti, ki postajo uporabljiva. S tem se izognemo informacijskemu zavajanju, ko zaradi navedenih slabosti sprejemnikov napačno sklepamo o položaju operativnih enot v prostoru, kar je lahko posledica odsotnosti GPS signala ali nepokritosti terena z baznimi postajami omrežja TETRA.

## 4 Področja uporabe v policiji

Možnost uporabe sistema v policijski službi je široka. Pomembno je, da pri izgradnji težimo k odprtosti, kar pomeni, možnost naknadne dograditve z opremo in rešitvami, ki bi zadostili novim potrebam. V dosedanjih razgovorih z uporabniki sistema so bile izpostavljena naslednja področja nadgradnje uporabnosti sistema:

- prikaz policijskih patrolj z njihovimi operativnimi statusi, kar omogoča takojšnjo določitev najbližje proste patrolje in njeno napotitev na interventni dogodek brez dodatnega poizvedovanja o njeni lokaciji po radijskih zvezah;
- prikrito sledenje vozilom, kjer je potrebno upoštevati, da ima oprema na tem področju še mnogo omejitev;
- iskalne akcije, kjer so na zemljevidu prikazane že preiskane poti in območja na podlagi katerih se lahko načrtuje nove poti in območja, ki jih je potrebno preiskati;
- vodenje akcij, pri katerih bi posamezne operativne skupine dobile informacijo o obravnavanem položaju in območju delovanja, na GPS sprejemnik, ki bi hkrati služil kot navigacijski sistem.

## 5 Sklep

Navigacija je področje, ki svoj pomen v Slovenski policiji šele pridobiva. Možna področja uporabe so široka, pri čemer moramo slediti namen, da je sistem v pomoč uporabnikom in ne da so uporabniki pomočniki sistema. Potrebno je prisluhniti potencialnim uporabnikom, in ga v čim večji meri prilagoditi njihovim potrebam in jim hkrati predlagati možna področja uporabe. Sistem, ki smo ga zgradili za srečanje OVSE in ga imamo še vedno v testni uporabi je pokazal, da nas na tem področju čaka še veliko dela, tako z informacijsko opremo kot s samimi uporabniki.

## **6 Viri in literatura**

Okorn, B. 2006: Moj Mikro 22–3. Vodniki iz veselja.

Kaplan, E. D. 2004: Mobile Communications Series: Understanding GPS Principles and Applications.

Steele, R. 2002: Mobile Radio Communications.

# SPLETNE STORITVE AGENCIJE REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE S POMOČJO GEOGRAFSKIH INFORMACIJSKIH SISTEMOV

**Matic Petek**

S&T Hermes Plus d. d.  
Leskovškova cesta 6, 1000 Ljubljana  
Matic.Petek@snt.si

**Aleš Veršič**

Agencija Republike Slovenije za okolje  
Vojkova cesta 1B, 1000 Ljubljana  
aversic@gov.si

UDK: 659.2:004:91(497.4)

## IZVLEČEK

**Spletne storitve Agencije Republike Slovenije za okolje s pomočjo geografskih informacijskih sistemov**  
Prispevek opisuje spletni storitvi s pomočjo geografskih informacijskih sistemov, ki omogočata izmenjavo prostorskih podatkov med distributerjem oz. vladno ustanovo in njenimi strankami, ki potrebujejo okoljske prostorske podatke. V uvodu so opisani razlogi za uvajanje spletnih storitev in standardi, ki urejajo to področje. V nadaljevanju je predstavljena razlika med spletno kartografsko in objektno storitvijo, opisane so tudi njune tehnološke značilnosti. Na koncu sta predstavljeni rešitvi, ki ju je vzpostavila Agencija Republike Slovenije za okolje.

## KLJUČNE BESEDE

geografski informacijski sistemi, spletna kartografska storitev (WMS), spletna objektna storitev (WFS), Geography Markup Language (GML), javna uprava, spletne storitve, okolje

## ABSTRACT

**Web services of Environmental Agency of Republic of Slovenia based on geographic information systems**  
Article describes two web services with Geographic Information Systems, which enable exchange of spatial data between distributor (in this case government agency) and their customers, who need environmental spatial data. In the introduction are described the reasons for implementing this web services and standards for this topic. Furthermore is described the differences between web map and web feature service and their technological characteristic. At the end are presented two solutions, which were established in the Environmental Agency of the Republic of Slovenia.

## KEYWORDS

geographic information systems, Web Map Service (WMS), Web Feature Service (WFS), Geography Markup Language (GML), public administration, web service, environment

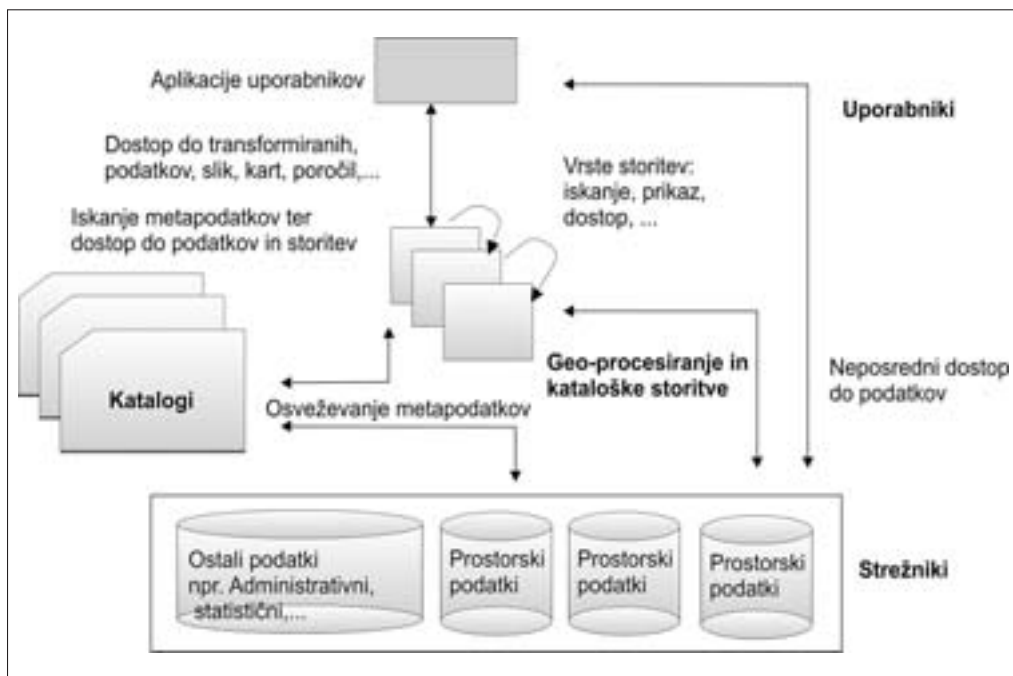
## 1 Uvod

Leta 2002 so trije evropski komisarji, za okolje (DG ENV), statistiko (DG EUROSTAT) in raziskave/razvoj (JRC), podpisali dogovor o sodelovanju pri razvoju pobude INSPIRE. Iz te pobude je nastal predlog direktive Evropske komisije (EK), ki je v postopku sprejemanja (predvideva se, da bo direktiva sprejeta do leta 2007). Če bo sprejeta, bodo morale države članice Evropske unije vzpostaviti infrastrukturo za prostorske informacije za namene okoljskih politik EU ter politik ali dejavnosti, ki lahko neposredno ali posredno vplivajo na okolje. Infrastruktura bo morala vključevati metapodatke, zbirke prostorskih podatkov in storitve v zvezi s prostorskimi podatki, od lokalne do globalne ravni na tak način, da bo omogočena njihova večnamenska uporaba.

Evropska infrastruktura bo temeljila na infrastrukturah, ki jih bodo vzpostavile in upravljale države članice.

Poleg te direktive obstaja trend, da se s pomočjo spletnih storitev za prostorske podatke omogoči dostop do podatkov na globalni ravni. V večini evropskih držav nekateri distributerji prostorskih podatkov omogočajo njihovo pridobitev s pomočjo spletne kartografske (WMS) in spletne objektne (WFS) storitve. V Sloveniji je »Geodetska uprava Republike Slovenije (GURS) v letu 2002 začela sistematično vzpostavljati distribucijsko okolje geodetske službe in ga vključevati v sistem e-uprave, ki omogoča oz. bo omogočal neposredni računalniški dostop do podatkov geodetske službe različnim skupinam uporabnikov, kot so organi državne in lokalne uprave, posebni uporabniki (geodetska podjetja z dovoljenjem za opravljanje geodetskih storitev, notarji, odvetniki, nepremičninski posredniki, upravniki stanovanj, ipd.), druge gospodarske družbe in fizične osebe« (Medmrežje 15).

»Sistem distribucije geodetskih podatkov je bil vzpostavljen v letu 2003, leta 2004 pa so operativno začele delovati prave storitve za uporabnike preko interneta. Omogočajo različne načine vpogledov v geodetske podatke ter posredovanje posameznih podatkov v sistem uporabnika« (Ažman 2005, 56).



Slika 1: Arhitekturni model INSPIRE (Medmrežje 6).

Vendar je to šele prvi korak k spletnim storitvam za širšo uporabo. Distribucija GURS, ki je bila vzpostavljena, je namenjena državni upravi, ostali uporabniki pa imajo trenutno samo možnost vpogleda v podatke.

Smisel WMS in WFS storitev je, da posamezen uporabnik pridobi vir ažurnih podatkov, ki jih lahko uporablja v kombinaciji s podatki pridobljenih iz drugih virov, in si tako ustvari informacijo, ki jo potrebuje. Pri tem ne potrebuje zelo zahtevne tehnologije, ampak je dovolj namizni računalnik z ustreznimi programsko opremo, ki zna prikazovati tovrstne podatke.

Vladna koalicija je v koalicijski pogodbi med drugim zapisala;

»Koalicija bo javno upravo razvijala kot servis za državljanke in podjetja ter zagotovila podjetništvu prijazno administrativno okolje« (Medmrežje 12, 54),

»Na področju uvajanja elektronske uprave bo koalicija dajala poudarek informatizaciji podatkovnih baz, njihovem povezovanju in odpiranju za uporabnike znotraj in zunaj javne uprave. Do konca mandata bodo informatizirane vse pomembne podatkovne baze v javnem sektorju (npr. matične evidence)« (Medmrežje 12, 55).

Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO) ima v svojem poslanstvu med drugim zapisano: »Opazovanje, analiziranje in napovedovanje naravnih pojavov in procesov v okolju; opravljanje nalog nacionalnih služb s področja hidrologije, meteorologije, seizmologije in geofizike, varstva narave, upravljanja z vodami; zmanjševanje naravne ogroženosti ljudi in njihovega premoženja; spremljanje stanja okolja in poročanje domači in mednarodni javnosti ter institucijam; uresničevanje zahtev varstva okolja, ki izhajajo iz veljavnih predpisov; ozaveščanje ljudi in institucij o okolju in okoljski problematiki; zagotavljanje javnih kakovostnih okoljskih podatkov; ohranjanje naravnih virov, biotske raznovrstnosti in zagotavljanje trajnostnega razvoja države« (Medmrežje 1).

Med strateškimi cilji je izpostavljeno:

- zagotavljanje kakovostnih okoljskih podatkov, analiz in strokovnih podlage za odločanje;
- zagotavljanje večje splošne varnosti in učinkovitih postopkov za obveščanje javnosti o okoljskih problemih in pred nevarnimi stanji v okolju;
- vpeljavo državljanom prijaznih in enostavnih upravnih postopkov;
- učinkovito poslovanje in čim nižji stroški pri opravljanju rednega dela;
- skrbjo za večjo pozitivno prepoznavnost agencije in njenih nalog v javnosti (Medmrežje 2).

S pomočjo WMS in WFS storitev bo ARSO omogočala dostop do ažurnih in kakovostnih okoljskih podatkov in tako skušala slediti svojemu poslanstvu in strateškemu ciljem. Za vsakega uporabnika je pomembna kakovost in ažurnost podatkov ter čim bolj enostaven način dostopa do zelenih podatkov, zato je uporaba teh storitev eden od načinov posredovanja prostorskih podatkov.

## 1.1 Standardi in standardizacija

Namen standardizacije je z dogovorom in s soglasjem med nacionalnimi ustanovami doseči enotno specifikacijo, kriterije v razvrščanju materialov, proizvodov, testiranju in analizi, terminologijo in storitvami. Tako uporabnikom olajšamo postopke in jim nudimo večjo zanesljivost, saj uporabnik ve, kaj lahko pričakuje, če posamezni izdelek izpolnjuje določen standard.

Standardi, ki urejajo spletne kartografske in spletne objektne storitve, so: OpenGIS® Web Map Service (WMS) Implementation Specification, 1.3; OpenGIS® Web Feature Service (WFS) Implementation Specification 1.1 in ISO 19119: 2005; Geographic information – Services.

Poleg teh so pomembni tudi ISO 19113: 2003; Načela kakovosti, ISO 19114: 2003; Postopki za ocenjevanje kakovosti in ISO 19115: 2003; Metapodatki.

V Republiki Sloveniji je za razvoj in vzdrževanje slovenskih standardov uradno zadolžen Slovenski inštitut za standardizacijo – SIST (Šumrada 2005b). Delovanje SIST-a poteka po tehničnih odborih, med katerimi je tehnični odbor za prostorske informacije in geomatiko (SIST TC GIG) zadolžen za področje geografskih informacij.

## 2 Kaj je spletna kartografska in spletna objektna storitev?

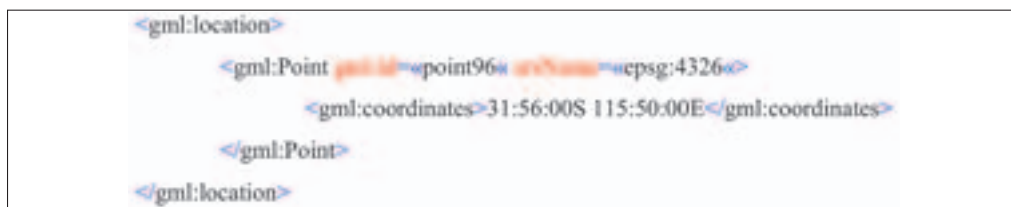
Spletna objektna storitev Web Feature Service (WFS) je vmesnik, ki omogoča pridobitev geografskih podatkov na podlagi zahtevka preko spleta. Za izmenjavo podatkov se uporablja na XML-u zasnovan GML (jezik za označevanje geografskih podatkov – GML) format za izmenjavo podatkov. GML format bo podrobneje opisan v naslednjem poglavju.

Na podlagi zahtevka posameznega uporabnika spletna kartografska (WMS) storitev izdela dinamične karte, ki so georeferencirane. Za razliko od WFS storitve, kjer se prenašajo podatki o posameznem območju, se pri WMS storitvi izdela karta, ki je narejena v rastrskem formatu PNG, GIF in JPEG ali pa kot vektorski element v SVG ali WebCGM formatu. Karta vsebuje tudi atributne podatke. Do podatkov, ki so pripravljeni v WMS načinu lahko uporabniki dostopijo preko programske opreme, ki je naložena na namiznih računalnikih in omogoča dodajanje prostorskih podatkov preko WMS storitve, ali pa s pomočjo aplikacije, ki je izdelana posebej za tovrstne storitve.

## 3 Opis tehnoloških značilnosti standarda za spletne kartografske in spletne objektne storitve

V nadaljevanju so opisane tri najpogostejše uporabljene tehnološke značilnosti. Vse tri prinašajo postopke za zapis podatkov ali izvajanje operacij, vendar ne omenjajo, kako se opisani podatki preslikajo v baze podatkov (datotečno shranjenih ali v relacijske baze). Način preslikave je v domeni izvedbe strežnika.

Jezik za označevanje geografskih podatkov (GML – Geography Markup Language) (Šumrada 2005a): GML je jezik za moduliranje, transport in shranjevanje geografskih informacij. Vsebuje različne objekte za opis geografskih lastosti, kot so geometrija, koordinatni sistem, topologija, čas, enote merjenja in splošne vrednosti. V nadaljevanju navajamo primer opisa lokacije s točko.



Slika 2: Primer zapisa točke v GML zapisu (Slika2\_Primer\_zapisa\_tocke\_v\_GML\_zapisu.jpg).

WMS – spletna kartografska storitev: WMS izdeluje karte iz prostorsko umeščenih podatkov, ki se nahajajo v geografskih informacijskih sistemih. Izhodni format podatkov so različni slikovni (GIF, PNG, JPEG) ali vektorski zapisi (SVG ali WebCGM). Poznamo tri vrste operacij:

- vračanje metapodatkov o storitvi,
- vračanje karte. Primer enostavnega klika:

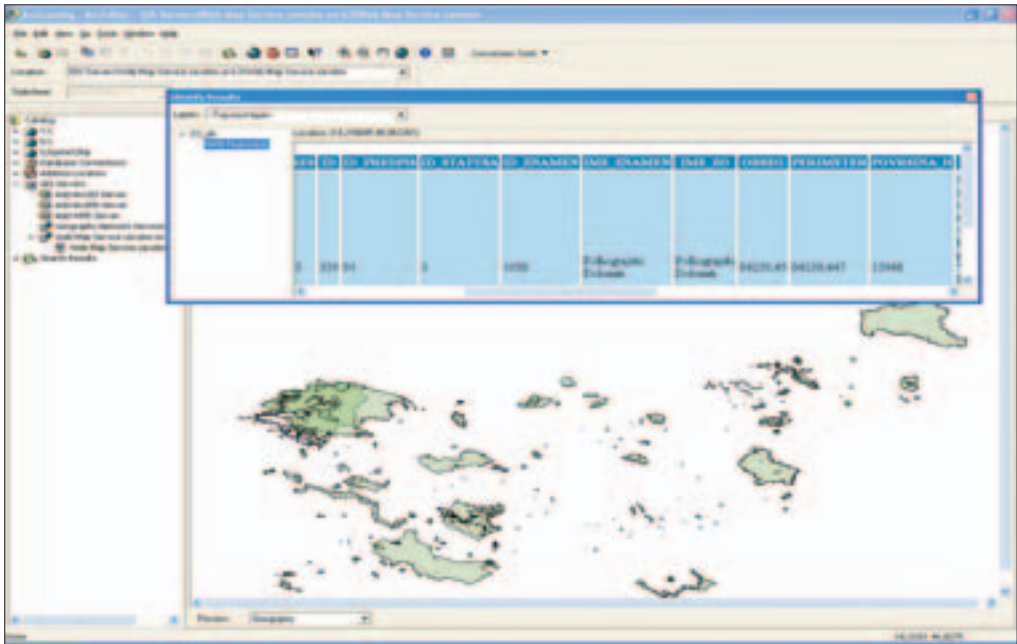
```
http://a-map-co.com/mapserver.cgi?VERSION=1.3.0&REQUEST=GctMap&
CRS=CRS:84&BBOX=-97.105,24.913,-78.794,36.358&
WIDTH=560&HEIGHT=350&LAYERS=AVHRR-09-27&STYLES=&
FORMAT=image/png&EXCEPTIONS=INIMAGE
```

Slika 3: Primer zahtevka za sliko na WMS strežniku informacije o določenem sloju podatkov na mapi.

Najpogosteje srečamo WMS v kombinaciji z WFS in stiliziranega opisovalca sloja (*StyledLayerDescriptor* – SLD) – prvi skrbi za ustrezní dostop do vektorskih podatkov, slednjega pa uporabimo za definicijo slogov izrisanih podatkov.

Ko želimo uporabiti storitev WMS, moramo v aplikaciji vpisati URL, s pomočjo katerega kličemo podatke iz strežnika: <http://k3/wmsconnector/com.esri.wms.Esrimap/zavobm?request=get capabilities&service=WMS&version=1.1.1>

Ko smo pridobili podatke, jih lahko s pomočjo aplikacije pregledujemo, kombiniramo z drugimi sloji in pridobimo atributivne podatke.



Slika 4: Primer uporabe WMS s pomočjo ArcCataloga (ESRI).

WMS je uporabnikom poenostavil dostop do grafičnih podatkov (kart) iz različnih podatkovnih virov.

WFS – spletna objektna storitev: WFS omogoča dostop in spreminjanje podatkov preko HTTP protokola.

Na voljo so operacije tipa dodaj, spremeni, zbríši, zakleni, povprašuj in iskanje. WFS podpira naslednje operacije:

- GetCapabilities – spletna storitev mora imeti možnost predstavitve svojih zmožnosti. Predvsem mora biti sposobna določiti, katere geografske elemente podpira in kakšne operacije lahko izvaja.
- DescribeFeatureType – vrne opis podanega geografskega elementa.
- GetFeature – spletna storitev mora imeti možnost vračanja geografskih elementov. Aplikacija mora imeti možnost določanja, katere parametre želi prebrati in postaviti pogoj po geografskih ali ostalih podatkih.
- GetGmlObject – vrne Xlink kazalec na ustrezní GML objekt.
- Transaction – transakcija je skupina operacij dodajanja, spreminjanja ali brisanja geografskih elementov.
- LockFeature – spletna storitev mora omogočiti zaklepanje skupine objektov za čas transakcije.



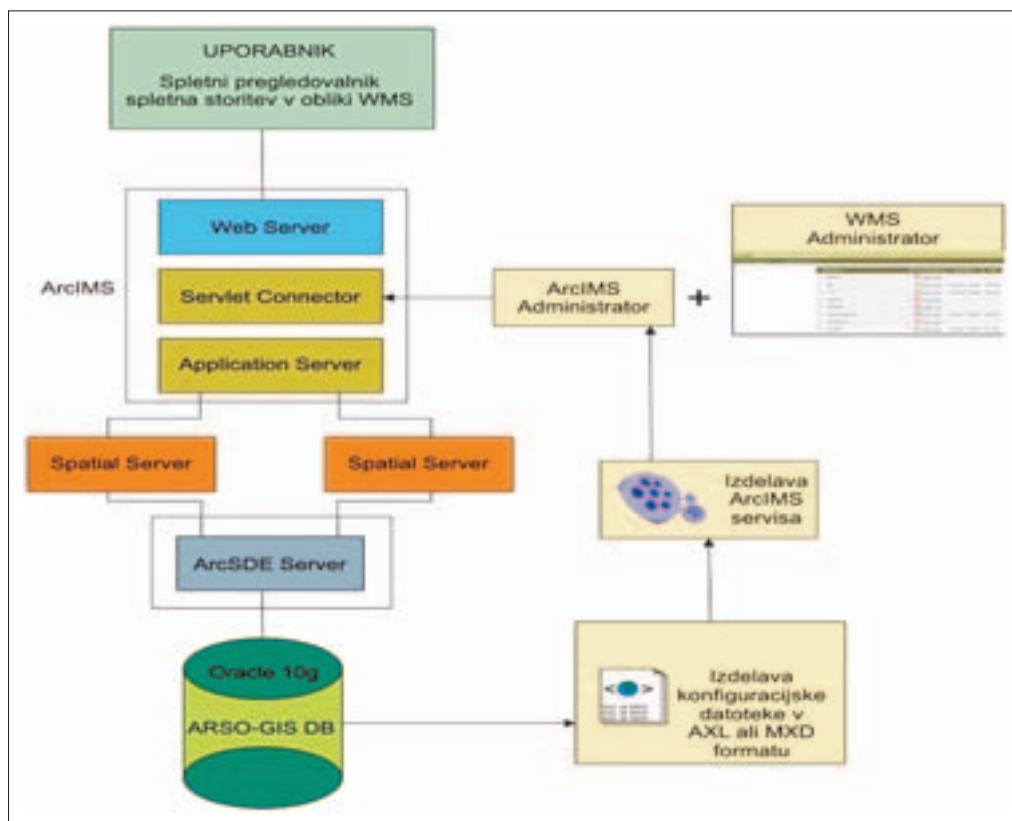
## 4 Primeri implementacij

### 4.1 Uporaba WMS s pomočjo ArcIMS na Agenciji RS za okolje

Podjetje ESRI je eden vodilnih ponudnikov programske opreme za geografske informacijske sisteme. Različne OGC standarde podpira tako na nivoju produktov za strežnike (ArcIMS), kot tudi v programih za končne uporabnike (npr. ArcInfo).

ArcIMS je strežnik za objavljanje dinamično generiranih kart in prostorskih podatkov na spletu. Izvorni podatki se lahko nahajajo v datotekah na disku ali v podatkovni bazi, do katerih se dostopa preko programa ArcSDE.

Za posredovanje prostorskih podatkov je potrebno izdelati konfiguracijsko datoteko, v kateri je zapisano, kje se podatki nahajajo, posamezne nastavitve (projekcija, merilo prikaza, ...). To datoteko lahko naredimo v .axl ali .mxd formatu. Te zatem objavimo na ArcIMS aplikacijskem strežniku pod določenim imenom storitve in podatki so dostopni do uporabniških aplikacij. V ArcIMS je potrebno posebej vzpostaviti WFS in WMS. Vendar je potem uporaba zelo enostavna – preko spletnega čarovnika objavimo obstoječe storitve kot WFS ali WMS. Na žalost pa ArcIMS ne podpira branje ali spreminjanje podatkov preko WFS protokola. Prostorske podatke na ARSO lahko ponudimo v obliki WMS, ki je bil narejen z ArcIMS strežnikom. Podatki so zapisani v relacijski bazi Oracle, nad katero je ArcSDE strežnik, ki omogoča urejanje teh podatkov.



Slika 5: Arhitektura ArcIMS in proces izdelave WMS.

S pomočjo ArcIMS administratorja izdelamo ArcIMS storitev, pri čemer uporabimo konfiguracijsko datoteko. Na ta način smo izdelali ArcIMS storitev, ki se lahko uporabi za spletni pregledovalnik ali pa za WMS. S pomočjo ArcIMS – WMS Connector Administratorja objavimo ArcIMS storitev kot WMS.

#### 4.2 Uporaba WFS s pomočjo GISRepSystem na Agenciji RS za okolje

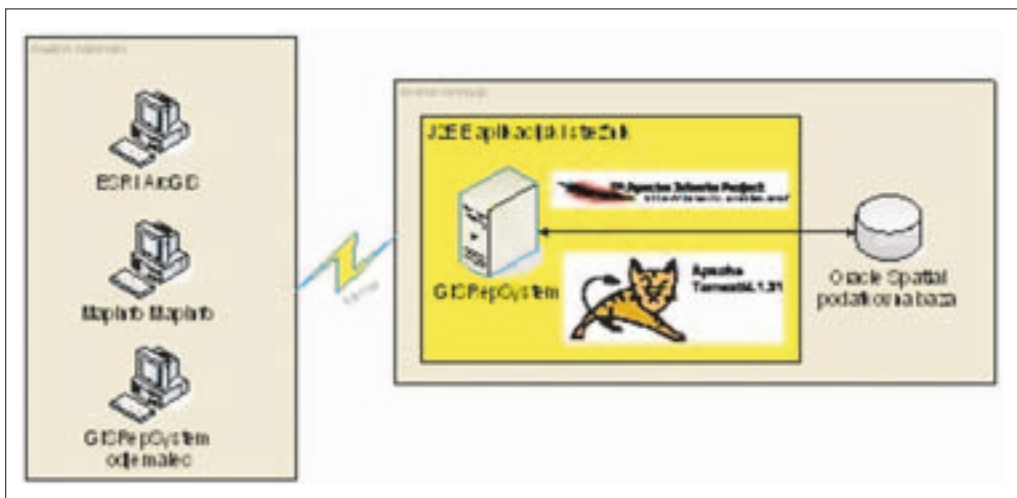
Rešitev GISRepSystem omogoča enostavno objavo podatkov iz Oracle Spatial formata preko WFS standarda. Omogoča namestitve na poljubni J2EE združljivi aplikacijski strežnik. V okviru projekta na ARSO smo uporabili podatke, ki so shranjeni v Oracle Spatial formatu, medtem ko rešitev omogoča izdelavo prilagodljivih podatkovnih virov.

Pomembni del sistema GISRepSystem predstavlja tudi odjemalec, ki iz podanega vira podatkov (WFS strežnika) prepiše podatke v izbrani izhodni format (npr. ESRI Shape ali OGC GML). Poleg prepisa podatkov, vsebuje tudi naslednjo bolj napredno funkcionalnost:

- izbira enega ali več WFS podatkovnih virov,
- omejitev prepisanih podatkov glede na izbrane stolpce in določene kriterije,
- frekvenca osveževanja podatkov in izhodni format,
- združevanje podatkovnih virov v večje skupine, imenovane profil,
- delovanje programa v ozadju, kar omogoča nemoteče vsakodnevno izvajanje replikacij.

Na tem mestu se zastavlja vprašanje, zakaj replikacije geografskih podatkov na lokalni računalnik, če pa že lokalno GIS orodje omogoča neposreden dostop do GIS podatkov preko WFS protokola. Po naših izkušnjah se uporabnost orodja prikaže predvsem v primerih, ko:

- uporabniki dostopajo do večje količine podatkov in bi vsakokratni prenos preko WFS protokola upočasnil njihovo delo,
- šele zadnje verzije GIS programske opreme podpirajo WFS standard. Večina uporabnikov ima nameščene starejše verzije ali orodja, ki tudi v bližnji prihodnosti ne bodo podpirale WFS standarda. Ker program za replikacijo podpira tudi ESRI Shapefile zapis podatkov, lahko podatke uporabimo tudi v starejših različicah.
- v nekaterih primerih želimo podatke samo posredovati uporabnikom in zunanjim izvajalcem za nadaljnjo obdelavo. V tem primeru ne potrebujejo GIS orodja, temveč si podatke lahko izvozijo v ESRI Shapefile ali GML formatu.



Slika 6: Umestitev GISRepSystem v informacijski sistem.

S pomočjo sistema GISRepSystem bodo lahko uporabniki pridobili podatke kot WFS storitev. Do bodo podatkov lahko prišli s pomočjo javanske aplikacije WFSClientUI, ki jim bo omogočil prenos podatkov v .shp ali .gml formatu. Drugi način pa je s pomočjo WFS protokola, kjer uporabnik vnese URL naslov v aplikacijo, ki mu omogoča prikaz podatkov na osnovi WFS storitve. NA slednji način uporabnik pridobi podatke v realnem času neposredno iz distribucijskega strežnika in ne iz lokalnega računalnika kot je to v prvem primeru.

## 5 Sklep

Storitvi kot sta WMS in WFS lahko pripomoreta k enostavnejšemu dostopu do prostorskih podatkov. Tak način distribucije predstavlja racionalnejšo rešitev, ker so podatki na voljo uporabnikom 24/7, distributerju pa preostane naloga, da vzdržuje to storitev. V začetni fazi so stroški večji kot pa pri posredovanju na obstoječi način, vendar pa se na ta način zagotovijo ažurni podatki za uporabnike in uporabniku ni treba skrbeti, če ima zadnjo verzijo podatkov, saj je distributer tisti, ki mora zagotoviti preko teh storitev zadnje stanje podatkov, iz distribucijske baze.

Eden od problemov je tudi preverjanje dostopa uporabnikov do WMS in WFS storitev. V svetu spletnih aplikacij se v uporabljajo pristopi, kot so uporabniško ime in geslo, prijava preko pravičnega elektronskega naslova, digitalna potrdila, itd. Ustrezno metodo avtorizacije lahko običajno nastavimo na aplikacijskih strežniku, vendar WMS/WFS specifikacije ne zahtevata podpore za zgoraj naštetih metode. V praksi bi to pomenilo, da se na WFS/WMS strežnik ne moremo povezati s pomočjo najpogostejših GIS orodij (ESRI ArcGIS, MapInfo, INTERGRAPH), kar seveda izniči vse napore enostavnega dostopa do podatkov.

V primeru večjih količin podatkov običajno nastane tudi problem hitrosti njihovega prenosa. Zaradi uporabe XML oblike zapisa podatkov (predvsem WFS) velik del prostora zasedejo metapodatki, ki določajo strukturo zapisa podatkov in ne same vsebine. Zato se zelo priporoča uporaba različnih tehnik kompresije podatkov. Obstaja kar nekaj algoritmov, ki so optimizirani za kompresijo XML oblike podatkov (npr. XMill), vendar se v praksi izkaže, da je GZIP algoritem še najprimernejši.

Pri uporabi WMS s pomočjo ArcIMS so bili problemi glede koordinatnega sistema. ArcIMS posreduje podatke v geografskih koordinatah, kljub temu, da je bila v konfiguracijski datoteki zapisana projekcija D-48 in je zato potrebna transformacija v slovenski državni koordinatni sistem D-48. Transformacija je vsekakor potrebna, če hočemo združevati prostorske podatke na obmejnih območjih, saj imajo vse sosednje države svoj koordinatni sistem. V prihodnosti bo ta problem odpadel, saj se predvideva, da bodo evropske države prešle na koordinatni sistem ETRS89.

## 6 Viri in literatura

- Ažman, I. 2005: Vzpostavitev slovenske prostorske podatkovne infrastrukture. Magistrska naloga. Ekonomska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Medmrežje 1: [http://www.arso.gov.si/o\\_agenciji/strateški\\_dokumenti/poslanstvo/](http://www.arso.gov.si/o_agenciji/strateški_dokumenti/poslanstvo/) (6. 3. 2006)
- Medmrežje 2: [http://www.arso.gov.si/o\\_agenciji/strateški\\_dokumenti/cilji/](http://www.arso.gov.si/o_agenciji/strateški_dokumenti/cilji/) (6. 3. 2006)
- Medmrežje 3: <http://deegree.sourceforge.net/index.html> (8. 3. 2006)
- Medmrežje 4: [https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=7174](https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=7174) (6. 3. 2006)
- Medmrežje 5: <http://inspire.jrc.it/home.html> (6. 3. 2006)
- Medmrežje 6: [http://inspire.jrc.it/reports/position\\_papers/inspire\\_ast\\_pp\\_v4\\_3\\_en.pdf](http://inspire.jrc.it/reports/position_papers/inspire_ast_pp_v4_3_en.pdf) (24. 6. 2006)
- Medmrežje 7: <http://www.esri.com/software/standards/ogc-support.html> (10. 3. 2006)
- Medmrežje 8: [https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=1188](https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=1188) (6. 3. 2006)
- Medmrežje 9: [https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=3837](https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=3837) (6. 3. 2006)

Medmrežje 10: [https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=8339](https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=8339) (6. 3. 2006)

Medmrežje 11: [https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=8618](https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=8618) (6. 3. 2006)

Medmrežje 12: [http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=5316](http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=5316) (6. 3. 2006)

Medmrežje 13: <http://www.sls.si/documents/stranka/koalicijska-pogodba.pdf> (24. 6. 2006)

Medmrežje 14: [http://inspire.jrc.it/state\\_of\\_play.cfm](http://inspire.jrc.it/state_of_play.cfm) (24. 6. 2006)

Medmrežje 15: <http://www.zrc-sazu.si/slogis/zbornik.htm> (24. 6. 2006)

Medmrežje 16: <http://www.sist.si/slo/g2/tdt.pdf> (24. 6. 2006)

Šumrada, R. 2005a: Strukture podatkov in prostorske analize. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani Ljubljana.

Šumrada, R. 2005b: Tehnologija GIS. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani Ljubljana.



## SPLETNA STORITEV ZA UPRAVLJANJE IN UREJANJE PROSTORSKIH GIS PODATKOV

*Dragan Vitas, dr. Mark Pleško, Andrej Maležič, Mitja Šlenc in Miha Kadunc*

*Cosylab d. o. o.*

*Teslova ulica 30, 1000 Ljubljana*

*dragan.vitas@cosylab.com, mark.plesko@cosylab.com, andrej.malezic@cosylab.com, mitja.slenc@cosylab.com, miha.kadunc@cosylab.com*

UDK: 659.2:004:91

### IZVLEČEK

#### **Spletna storitev za upravljanje in urejanje prostorskih GIS podatkov**

Razvili smo zmogljivo spletno GIS storitev in orodja za celovite in porazdeljene aplikacije za zahtevne uporabnike. Nagradljiv sistem omogoča sočasno uporabo iste GIS baze številnim uporabnikom za urejanje ali novo vnašanje. Za obravnavo z razvitim sistemom so možne baze: ORACLE, ESRI SDE, *mysql*, in podobne. Omogočene so vse prednosti skupnega oddaljenega dela, kjer uporabniki sočasno urejajo in digitalizirajo zemljiške parcele ter uporabljajo vse standardne GIS funkcionalnosti. Količina prenesenih podatkov preko omrežja je optimirana na minimum. Primer uspešne postavitve razvitega sistema je bil izveden na Ministrstvu za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (KMGP) in sicer za vnos in obdelavo grafičnih enot zemljiških parcel (GERK) za potrebe prijavi in nadzora kmetijskih subvencij, ki jih zagotavlja EU. Z uporabo obravnavane spletne storitve več kot 500 uporabnikov na dan sproži preko 1,5 milijona transakcij na standardnih PC računalnikih pri čemer je zagotovljena polna funkcionalnost uporabe.

### KLJUČNE BESEDE

GIS, LPIS, GERK, porazdeljeni sistem, Java, spletni pregledovalnik, prostorski podatki, zemljiška parcela

### ABSTRACT

#### **Web service for managing and editing spatial GIS data**

We have developed an effective Web-based spatial GIS service for complex and distributed applications and for demanding customers. Scalable and platform independent system allows many concurrent users simultaneous use of GIS database to edit or digitize new land parcels. System is open for ORACLE, ESRI SDE, *mysql* and other databases. All advantages of concurrent remote work are enabled where users can simultaneously edit or digitize land parcels or use any of standard GIS features. Necessary network communication is optimized to a minimum without hindering functionalities. The most prominent successful installation is Land Parcel Information System (LPIS) at the Slovenian Ministry of Agriculture providing applications submission and control function of EU farming subsidies. Over 500 users resulted in over 1,5 million hits per day without any loss of performance on standard PC hardware.

### KEYWORDS

GIS, LPIS, distributed system, Java, support center, web viewer, scalability, web application, spatial data, land parcel

## 1 Uvod

Nekatere velike ustanove ali podjetja za svoje delovanje potrebujejo učinkovito uporabo geografskih informacijskih sistemov. To so okolja z različnih področij delovanja kot so npr. ekologija (lokacija rastlin, živali, odlagališč, izvorov hrupa, meteoroloških podatkov in mnogo drugih), varnost (vojaški zemljevidi v 3D, načrti za civilno zaščito s plani postopkov) in lastninske evidence (elektronski kataster, povezan z zemljiško knjigo). Tipični uporabniki takih sistemov so npr. zavarovalnice, telekomi, elektrogospodarstva, vodovodi, cestna podjetja in e-Vlada oz. posamezna ministrstva.

Kmetijska ministrstva potrebujejo GIS sisteme za učinkovito vodenje digitalnih evidenc kmetijskih zemljišč in njihove rabe (t. i. »grafične enote rabe kmetijskih gospodarstev« – GERK, angl. LPIS), s pomočjo katerih lahko med drugim tudi izvajajo in upravljajo s prijavi Evropski komisiji za subvencije. Neposredna uporaba zbirk prostorskih podatkov je v slednjem primeru potrebna tudi lastnikom in še posebej uporabnikom kmetijskih zemljišč, ki lahko kot končni uporabniki neposredno označujejo in prijavljajo svoje kmetijske parcele za pridobitev subvencij.

Ob tem obstaja v novih članicah EU (vključno s Slovenijo) in v kandidatkah za članstvo posebnost, da je potrebno zaradi nepopolnih in neažurnih katastrskih evidenc, podatke o rabi zemljišč (območja, površine, in drugi atributni podatki) vzpostavljati v novo bazo rabe kmetijskih zemljišč, za kar je dodatno potreben zmožljiv informacijski sistem.

Naštete skupine uporabnikov imajo v okviru svojih GIS sistemov lahko več sto ali tudi več tisoč sočasnih končnih uporabnikov (izpostave, terenski delavci, ciljne skupine prebivalstva – kmetijski proizvajalci). Pri tem mora biti zagotovljeno, da imajo končni uporabniki čim bolj učinkovit dostop do precejšnje količine elektronskih geografskih in spremljajočih podatkov. To terja precejšnje stroške in težave z vzdrževanjem le-teh.

Pri razvoju GIS aplikacij in storitev proizvajalci programske opreme za določen namen običajno prilagajajo GIS programske izdelke, ki so prvenstveno namenjeni ločeni namizni uporabi in so precej slabše prirejeni za uporabo preko spleta. Zato se taki sistemi pri prenosu velike količine podatkov skozi podatkovno omrežje izkažejo kot prepočasni in preokorni, še posebej pri upoštevanju zahteve glede sočasnega dela velikega števila uporabnikov z isto bazo. Poleg tega je uporaba sistema običajno vezana na plačevanje licenčnine, kar uporabo takih sistemov naredi zelo drago. Omejitve se kažejo tudi pri vezavi na uporabo zgolj posamezne vrste podatkovnih baz, s čimer je univerzalnost takih sistemov zelo okrnjena. Standardni GIS produkti večinoma ne rešujejo problemov množične sočasne uporabe pri vnosih in obdelavi podatkov.

Podjetje Cosylab d. o. o. je bilo z navedenimi omejitvami vzpodbujeno k razvoju lastne programske osnove Giselle, ki naveden probleme učinkovito presega. Na podlagi osnove Giselle je bila v letu 2005 za slovensko Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano izdelana in postavljena namenska storitev in aplikacija GERK. Na tej osnovi so postavljene tudi uspešne GIS rešitve kot na primer v Angliji in na Škotskem (Medmrežje 1: <http://www.defra.gov.uk/erdp/schemes/els/online/download.htm> (15. 5. 2006)).

## 2 Tehnološka zasnova programske platforme Giselle

Cosylab je pri razvoju programske platforme oz. tehnologije Giselle vnaprej oblikoval izhodišča na podlagi lastnih zamisli in potreb trga, ki so bila potem tudi upoštevana pri razvoju platforme.

### 2.1 Osnovna vodila pri snovanju tehnologije Giselle

Osnovno vodilo pri zasnovi programske osnove Giselle je bilo, da mora biti sistem učinkovit in mora razrešiti probleme obstoječih sistemov, ki so dosegljivi na trgu ter je obenem cenovno bolj ugoden (do-

stopen). Izhodišče za oblikovanje zahtev je bilo ugotovljeno na osnovi analize stanja na obravnavanem strokovnem področju v Sloveniji.

Izpolnjene so morale biti naslednje zahteve:

- uporabniki morajo obdelovati velike količine podatkov preko relativno počasnih podatkovnih povezav,
- sistem mora biti neodvisen od uporabljene platforme, porazdeljen in preprost za vzdrževanje,
- razvijalci sistema se morajo osredotočiti na razvoj funkcionalnosti in ne na obhodne rešitve različnih platform,
- sistem se mora opirati na obstoječe standarde, kjerkoli je to mogoče,
- sistem mora biti sposoben zagotoviti varno komunikacijo skozi omrežje,
- licenčna politika mora biti prilagodljiva,
- sistem mora biti nadgradljiv (z vidika zmogljivosti v strežniškem delu in z vidika števila uporabnikov).

Že v osnovi je bilo predvideno, da bo sistem uporabljen s strani različnih skupin uporabnikov z različnimi nivoji tehničnega znanja, večina tudi z malo ali brez izkušenj z GIS programsko opremo.

Zato je bilo zelo pomembno predvideti, da je uporabniški vmesnik preprost in intuitiven za uporabo. Osnovna ideja pri snovanju je bila, da zahtevni problemi nujno ne zahtevajo tudi kompleksnih in dragih rešitev. Zato je bila posledična zahteva, da sistem temelji na povsod dostopnih spletnih tehnologijah in običajnih osebnih računalnikih brez drage dodatne opreme.

Za doseg preprostosti uporabe je bilo torej potrebno izpolniti še naslednje zahteve:

- aplikacija na strani odjemalca bo sprožena s strani spletnega brskalnika in samodejno osvežena vsakič, ko bodo na voljo nove različice,
- rešitev bo temeljila na spletnih tehnologijah in Java™ platformi, kar omogoča delovanje programske opreme na različnih platformah in operacijskih sistemih ter zagotavlja preprostost za vzdrževanje,
- uporabniški vmesnik, vključno s sporočili o napakah, bo povsem lokaliziran, t. j. bo povsem prilagojen potrebam lokalnega okolja (jezik, načini označevanja in menijskih razporeditev na ekranu, izbor funkcionalnosti in podobno)
- atributne vnosne forme bodo vsebovale napredno logiko, ki bo zagotovila preverjanje s strani uporabnikov vnesenih podatkov ter jih vodila v primeru napačnih vnosov,
- grafično urejanje bo v polni meri topološko nadzorovano, kar bo preprečevalo napake in vodilo uporabnika med zahtevnimi nalogami pri vnosu (na primer zapolnjevanje lukenj, ločevanje, združevanje in spenjanje poligonov) in pri odpravljanju napak (prekrivanja, zamaknjeni centri, podvojene točke, in podobno),
- spletne povezave do smiselno povezanih html strani za pomoč bodo na voljo na različne načine preko uporabniškega vmesnika,
- uporabniški vmesnik bo usmerjen v izvajanje nalog, kar bo tudi novim uporabnikom zagotovilo hitro učenje. Močnejše funkcionalnosti, čeprav ne neposredno vidne preko uporabniškega vmesnika, ker bi motile nove uporabnike, bodo dosegljive za napredne uporabnike in za izvedence,
- strežniška aplikacija omogoča podpornemu centru grafični vpogled v delo uporabnikov in tako zagotavlja daljinsko pomoč v primeru topoloških težav ali dvomov.

Upoštevali smo tudi dodatne omejitvene pogoje kot so:

- veliko število sočasnih uporabnikov (300 in več)
- slabše podatkovne povezave (64 kbit/s)
- omejene zmožnosti odjemalskih računalnikov (600 MHz, 256 MB)
- velika količina podatkov, ki jih je potrebno prenašati (ortofoto posnetki 0.5 m)
- zahteva za visoko stabilnostjo sistema
- uporabniki imajo različne nivoje obstoječega znanja s področja GIS/IT

Vse navedene zahteve so se izkazale tudi kot tehnološko izvedljive, kar je pokazano v naslednjem razdelku.



## 2.2 Kako so zahteve tehnološko uporabljene

Pri programski osnovi Giselle gre za nabor programskih modulov oz. podprogramov (knjižnica) za obdelavo, upravljanje in prikaz geografskih GIS podatkov. Zamišljena je kot varen internetni/intranetni večuporabniški spletni sistem, namenjen za vpogled in obdelavo GIS poligonov in njihovih atributov bodisi preko samostojnih namiznih aplikacij, ali pa v sklopu zasnovane odjemalec/strežnik preko običajnega spletnega brskalnika z različnih lokacij. Z učinkovito topološko zasnovo je omogočena preprosta uporaba z običajnimi komunikacijskimi povezavami preko html storitev ter preprosta nadgradljivost števila uporabnikov in številnih drugih funkcionalnosti. Celotna programska osnova Giselle omogoča tudi celovito upravljanje z atributnimi geografskimi podatki in storitvami. Omogoča delo tako z vektorskimi kot atributnimi geografskimi slikami. Za centralno upravljano podatkovno bazo je zagotovljena konsistentnost in ažurnost.

Sistem Giselle ne terja posebnih pogojev za uporabljeno programsko opremo, strojno opremo ali pogojev za lastništvo posameznih licenc s strani končnih uporabnikov. Sistem ni omejen le na povezavo z eno vrsto podatkovnih baz in tako omogoča delo z različnimi bazami, npr. Oracle, ESRI SDE, ESRI shape, MySQL, PostgreSQL.

Medmrežje 11: <http://oracle.com> (15. 5. 2006).

Medmrežje 4: <http://esri.com/software/arcgis/index.html> (15. 5. 2006).

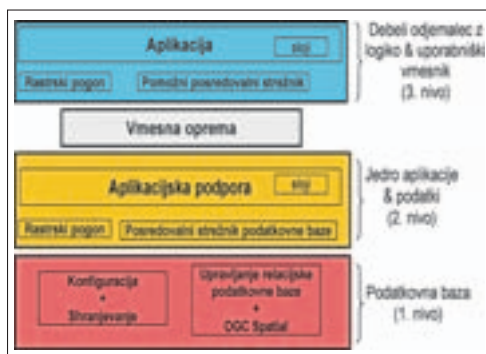
Medmrežje 5: <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf> (15. 5. 2006).

Medmrežje 6: <http://www.mysql.com> (15. 5. 2006).

Zasnova z avtomatsko prilagodljivo pasovno širino pri prenosu podatkov glede na konkretne komunikacijske zmožnosti vedno omogoča ustrezno odzivnost sistema brez izgube funkcionalnosti. Ob zmanjšanih komunikacijskih zmoglostih preko omrežja sistem prilagaja odzivnost zgolj na račun kakovosti prenesenih slik s pomočjo prilagodljivih algoritmov stiskanja slik na strežniku. Taka zasnova ne zahteva od uporabnikov dodatnih znanj za učinkovito delo v različnih realnih okoliščinah.

Sistem Giselle je topološko razdeljen v tri-nivojski arhitekturi odjemalec-strežnik kombinirani z nekaterimi vidiki arhitekture terminal-gostitelj za izboljšanje učinkovitosti. Slika 1 prikazuje podrobnosti. Neodvisnost od uporabljene platforme je bila zagotovljena z izbiro Java™ tehnologije, ter s spletnimi brskalniki, ki delujejo z navideznim javanskim strežnikom (Java™ Virtual Machine orodji).

Uporabljene so relacijske baze s standardnimi orodji za prostorske podatke Open GIS Community (OGC) (Medmrežje 13: <http://opengeospatial.org> (15. 5. 2006)). Razvit je bil OGC združljivi aplikacijski strežnik z uporabo standardov CORBA ali »Web Services« v sodelovanju z XML podatkovno izmenjavo za komunikacijo (Medmrežje 2: <http://java.sun.com/developer/onlineTraining/corba/> (15. 5. 2006)). Z naštetim je zagotovljeno, da je rešitev združljiva z obstoječimi standardi in izmenljiva z drugimi rešitvami. Uporaba spletnih brskalnikov za komunikacijo je tudi omogočila uporabo standardnih zaščitnih tehnik pri komunikaciji skozi javno podatkovno omrežje, s čimer je zagotovljena varnost prenosa.



Slika 1: Shematski prikaz tri-nivojske arhitekture Giselle.

### 2.3 Distribucija ortofoto posnetkov

Potrebe na projektu so bile odlično rešene s Cosylab slikovnim strežnikom. Arhitektura sestoji iz enega centralnega strežnika, večih odjemalcev in iz večih dodatnih lokalnih slikovnih strežnikov (za vsako lokalno omrežje po eden). Centralni strežnik zagotavlja, da so podatki konsistentni in ažurni, lokalni strežnik pa jih aktivno shranjuje. Podatki se prenašajo preko omrežja, preko fizičnih medijev ali oboje. Nato odjemalci dostopajo do lokalnih strežnikov za zajem slik. Če na njih slika še ni vmesno shranjena, bo transparentno prenesena iz centralnega strežnika na lokalnega.

Bistvena lastnost porazdeljene zasnove Cosylab slikovnega strežnika, ki je drugi LPIS sistemi nimajo, je, da centralni strežnik upravlja tako s slikami kot z odjemalci. Običajna arhitektura z neodvisnimi odjemalci na lokalnih strežnikih zahteva od skrbnikov opravljanje dodatnih aktivnosti, na primer vzdrževanje in konfiguriranje, upravljanje z licencami. Pri uporabi topologije terminal-strežnik je sistem v prometnih konicah preobremenjen, ker zahteve niso porazdeljene in paralelizirane. Zato so v teh primerih potrebne večje pasovne zmogljivosti, ki potem večino časa niso izkoriščene.

### 2.4 Povezljivost sistema Giselle z drugimi sistemi

V zapletenih okoljih je medsebojna povezljivost sistemov nujnost. Najlažja pot za dosego povezljivosti bi bila, če bi vsi upoštevali standarde. Ker pa takega enotnega standarda v realnosti ni, je vedno potrebno izvajati povezovanje, ki razhajanja med standardi premošča. Sistem Giselle je bil zasnovana z zgoraj navedeno zamisljivo. Združljivost med sistemom Giselle in veljavnimi standardi, izdelki in storitvami je dosegljiva s prilagodljivo arhitekturo. Vhodni podatki, ki jih Giselle zajema, obdeluje ali prikazuje uporabniku, so obdelani s programskimi dodatki (plug-ins). Za vsak tip vira podatkov (prostorska podatkovna baza, *OpenGIS* strežnik, DB2) je potrebno le namestiti ustrezen programski dodatek in aplikacija je nameščena za uporabo. Sistem Giselle je tako že sedaj sposoben povezljivosti s celo vrsto standardov, produktov in platform, hkrati pa je tudi odprt za nadaljnje novosti, ki bodo z razvojem aktualne.

## 3 Vzpostavitev spletne storitve GERK na Ministrstvu za kmetijstvo

Na Ministrstvu za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano je bil cilj projekta GERK vzpostavitev in vzdrževanje evidence Grafičnih Enot Rabe Kmetijskih gospodarstev – GERK, ki je namenjena za izvedbo uveljavljanja ukrepov evropske kmetijske politike. Potrebno je bilo določiti lego, obliko in rabo kmetijskih zemljišč, ki so v uporabi posameznega nosilca kmetijskega gospodarstva z namenom prijave za pridobitev podpore s strani Evropske komisije (EU).

### 3.1 Namen GERK projekta

Pogoj, da država lahko črpa finančna sredstva za plačila na kmetijsko površino iz Evropske Unije, je vzpostavljen Integrirani Administrativni in Kontrolni Sistem (IAKS), del katerega je morala postati tudi GERK aplikacija in storitev. V Sloveniji so bili od leta 2000 za prijavo in nadzor plačil na površino uporabljeni numerični podatki iz zemljiškega katastra. V letu 2005 pa je Ministrstvo za kmetijstvo v skladu z EU zakonodajo o izvajanju ukrepov skupne kmetijske politike moralo vzpostaviti elektronsko evidenco GERK.

Glavni namen GERK sistema je določiti lokacijo in področje enovite parcele kmetijskega zemljišča, katera se izkorišča za isto vrsto rabe zemljišča (GERK) in je obdelovana s strani enega nosilca (npr. kmetijski pridelovalec, uporabnik zemljišča). Položaj zemljišč se v sistemu določi interaktivno, s pomočjo prikaza digitalnih ortofoto posnetkov Slovenije.

Pri tem je bilo potrebno obiti tudi največje probleme, zaradi katerih je bilo sistem GERK tudi potrebno vzpostaviti:

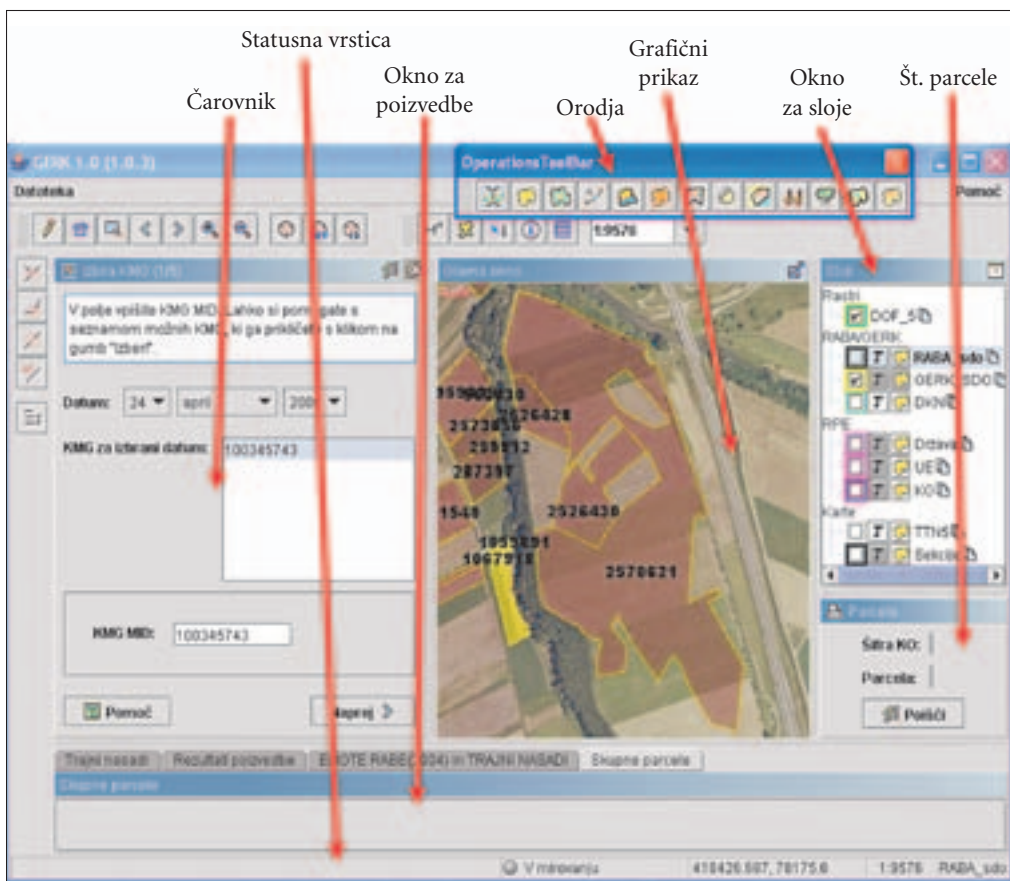
- slaba položajna natančnost grafičnih podatkov digitalnega katastrskega načrta (DKN);
- vsebinske nepravilnosti katastra, kot so neažurni opisni podatki, saj za mnogo sprememb v naravi nikoli ni bil zahtevan vpis v kataster;
- napake v katastru dejanske rabe kmetijskih zemljišč, ki izhajajo iz interpretacije podatkov iz letalskih posnetkov ali iz spremembe rabe v naravi, glede na stanje na posnetku.

Te pomanjkljivosti so od vzpostavljenega informacijskega sistema terjale zmogljiva GIS orodja, ki omogočajo učinkovite primerjave in popravke glede na obstoječe evidence.

### 3.2 Izvedene rešitve za uporabnika v okviru projekta

S projektom GERK je bila tako v letu 2005 v celoti na novo vnešena digitalna grafična baza podatkov kmetijskih zemljišč ter vzpostavljena pripadajoča storitev za območje celotne Slovenije.

Aplikacija GERK omogoča uporabnikom, da odpirajo in preoblikujejo vektorske poligone s sprotno samodejno topološko kontrolo, vnašajo atributne podatke (npr. naziv poligona, komentarji kmetijskih svetovalcev ali prijaviteljev), analiziranje in upravljanje podatkov, »brskanje« po podatkovni bazi in uprav-



Slika 2: Prikaz oken aplikacije GERK.

ljanje in tiskanje končnih poročil sestankov. Aplikacija omogoča uporabo in upravljanje podatkov iz drugih, zunanjih podatkovnih baz preko interneta, na primer z Registrom Agencije Republike Slovenije za kmetijske trge in razvoj podeželja (AKTRP).

V aplikaciji so v oknu za grafični prikaz poleg informativnih slojev na voljo štirje glavni prikazovalni sloji (Ministrstvo za kmetijstvo: *GIS pregledovalnik*, 2005. Medmrežje 7: <http://rkg.gov.si/GERK/viewer.jsp>)

- sloj DOF, digitalni ortofoto posnetki
- sloj DKN, digitalni katastrski načrt
- sloj RABA, raba kmetijskih zemljišč
- sloj GERK, grafične enote rabe

Na sliki 2 je prikazan pogled v različna okna aplikacije, *okno s sloji*, *okno za grafični prikaz*, *okno za poizvedbe*, *čarovnik*, *orodna vrstica*

Pri uporabi aplikacije je uporabnikom za urejanje podatkov omogočeno zelo odprto prilagajanje uporabniških nastavitev. Podprta je vrsta podatkovnih formatov in različnih prednastavitev, kot je seznam vnaprej opredeljenih vrednosti, pravih izrazov,

K učinkovitosti storitve veliko prispeva tudi zasnova na strežniški strani sistema. Zaradi porazdeljene zasnove je omogočena velika preglednost delovanja sistema, ki presega zgolj opazovanje statusov.



Slika 3: Administratorski pogled: porazdeljeno upravljanje strežnika, izenačevanje obremenitve in nadzor.

Podpornemu centru je z uporabo administratorskega orodja (slika 3) omogočeno spremljanje in izvrstna diagnostika številnih vidikov celotnega sistema ter pomoč pri uporabi aplikacije v realnem času, kot npr.:

- pregled sistemskih parametrov sistema (izraba omrežnih zmogljivosti, pasovna propustnost odjemalcev, procesorska obremenjenost, delovanje podatkovne baze)
- vpogled v uporabniške seje v realnem času – možnost vpogleda v težave in napake pri delu uporabnika
- konferenčno urejanje – izvedenec podpornega centra lahko pomaga rešiti težje primere vnosa

Na sliki 3 je prikazan administratorski pogled za opravljanje različnih nalog, kot so Porazdeljeno upravljanje strežnika, Izenačevanje obremenitve in Nadzor.

Za dodatno podporo storitvi so bili razviti so bili še trije spremljajoči moduli. Prvi omogoča sodelavcem ministrstva učinkovito **organizacijo sestankov** na terenu s prijavitelji. Ta aplikacija je bila potrebna zaradi velikega števila prijaviteljev, ki so morali biti obravnavani v kratkem času 8 mesecev.

Drugi modul je t. i. **podporni center**, ki omogoča sprotno (on-line) pomoč pri delu svetovalcev na terenu. Med drugim omogoča vpogled v ekransko sliko svetovalca, tako da se najhitreje lahko odpravi težave pri obdelavi podatkov.

Tretji modul je še spletni **GIS pregledovalnik**, ki je tudi javno dostopen (viri *GIS pregledovalnik*).

Od letošnjega leta naprej z vzpostavljenjo uporabo te storitve nosilci kmetijskih gospodarstev vlagajo zahteve za plačila na površino le na osnovi GERK-ov, ki jih za tekoče leto elektronsko posodobijo pred oddajo zbirne vloge.

Vzpostavljena storitev je zahtevala možnost uporabe velikemu številu sočasnih končnih uporabnikov (sodelavci ministrstva, svetovalci, upravne enote in lokalne geodetske izpostave). Vsi našteti so delali z isto podatkovno bazo preko internet/intranet omrežja.

Velikost projekta v številkah:

- št. različnih uporabnikov na dan: 530,
- povprečno število sočasnih uporabnikov: 350 oz. več kot 3000,
- človek-ur dnevno,
- 3 milijone začetnih GERK poligonov,
- 700.000 kmetijskih zemljišč,
- 73.000 uporabnikov-prijaviteljev,
- 700–800 svetovalcev,
- število prenesenih slik na dan: 775.000,
- število obdelanih zahtev na dan: 1,76 milijona.
- vzpostavitev celotne baze za Slovenijo v 8 mesecih leta 2005

## 4 Prednosti Giselle tehnologije

Z vidika vsakega posameznega skupinskega uporabnika morajo imeti vsi vpleteni nivoji uporabniških skupin koristi od sistema. Giselle tehnologija je bila razvita z upoštevanjem te zahteve. S tem se kažejo prednosti za naslednje vpletene uporabniške skupine:

- za odločevalce:  
cilj odločevalcev je, da svojemu korporativnemu okolju zagotovijo učinkovito, dobičkonosno in udobno delo. Z Giselle tehnologijo jim je to omogočeno, konkurenčna tržna cena, preprostost vpeljave v delovne procese in zanesljiva podpora s strani razvoja. Giselle tehnologija je skladna z veljavnimi aktualnimi standardi (OGC, XML, CORBA, Web Services) s čemer je omogočena preprosta integracija z obstoječimi sistemi ali celo njihova nadomestitev,

- za uporabnike sistema:

Giselle tehnologija je bila oblikovana z uporabo večih let izkušenj in z globokim razumevanjem uporabniških potreb. Izkušnje kažejo, da je uporabnikom všeč, da imajo kot orodje za obvladovanje

prostorskih podatkov spletno tehnologijo, saj so navajeni uporabe spletnih brskalnikov. Ni potreben dodaten napor za namestitev sistema. Giselle je dostopna od koderkoli, kljub temu pa ohranja obnašanje in ostale uporabniške nastavitve, kot da bi bila shranjena na strežniku. Dejstvo, da so funkcionalnosti preverjanja in upravljanje s podatki vgrajena v odjemalcu, kar ima za posledico, da uporabnik vedno prostorske podatke ureja v pravilno topologiji. Veliko časa mu je prihranjena s tem, ker Giselle ne potrebuje dodatnih podatkov za preverjanje in popraviljanje vrzeli ali prekrivanje med poligoni, ki so v urejanju,

- za sistemske skrbnike:

ker s strani odjemalca tehnologije Giselle in pripadajočih sistemov nastopa spletni brskalnik, je možno sistem preprosto vzdrževati tudi v primeru uporabljenega večjega distribuiranega sistema: namestitev, administracija in vzdrževanje se lahko izvaja na strežniku. To prihrani skrbnikom precej časa. Močna namestitvena orodja jim tudi omogočajo, da orodje prilagajajo posebnim potrebam specifičnih uporabnikov,

- in nenazadnje za razvijalce Giselle:

glavna prednost za razvijalce tehnologije Giselle je njena modularnost in nastavljenost posameznih komponent, kar omogoča primerno in učinkovito obvladovanje aplikacij znotraj Giselle tehnološkega ogrodja. Razvijalci lahko uporabljajo velik izbor posameznih sklopov, kot so pogledi, sloji, meniji in podobno, kar omogoča hitro in učinkovito sestavljanje v programsko celoto, ki je učinkovito prilagojena za uporabnike.

## 5 Sklep

Giselle tehnologija se je s predstavljenim projektom potrdila kot zelo učinkovito orodje za vzpostavitev in izvajanje spletnih storitev, namenjenih za upravljanje s prostorskimi digitaliziranimi podatki. Omogoča delo preko spleta s precej večjim številom sočasnih uporabnikov, potrebuje nižje hitrosti komunikacije in tudi precej manj drago strojno opremo. Za konkretno postavitev storitve GERK (LPIS) na slovenskem Ministrstvu za kmetijstvo se je uporaba izkazala celo kot boljša od najbolj znanih GIS sistemov, ker le-ti pač rešujejo splošne GIS potrebe, niso pa prilagojeni za potrebe LPIS funkcionalnosti. Upoštevati moramo tudi, da je naša aplikacija GERK in spremljajoča knjižnica Giselle rezultat skoraj desetletnih izkušenj v tesnem sodelovanju s slovenskim Ministrstvom za kmetijstvo. Največjo referenco in priznanje je Giselle/GERK dobil z uvrstitvijo na predavanje in predstavitev na CwRS konferenci na Poljskem v letu 2005, ki jo organizirajo organi Evropske unije in kjer so prisotne vse administracije članic EU in kandidatke. Predstavljeni sistem je požel izjemen uspeh in zanimanje. Še posebej s strani posameznikov držav kandidatke, za katere je sistem posebej zanimiv.

Menimo, da ta pristop v prihodnosti omogoča velike prednosti. Kot aktualen in zanimiv predlog vidimo v tem, da bi se zagotovila povezljivost vseh zemljiških in okoljskih podatkovnih baz na področju Evrope, kar je s predstavljeno tehnološko zasnovo povsem mogoče brez potrebe za zamenjavo obstoječih informacijskih sistemov ali dragih prilagoditev. Uradniki Evropske komisije bi pri tem imeli možnost izvajanja poizvedb in analiz v zvezi s rabo kmetijskih zemljišč na območju cele EU z uporabo istega uporabniškega vmesnika.

## 6 Viri in literatura

British Department for Environment, Food and Rural Affairs, DEFRA: *Entry Level Stewardship* – ELS Online. 2005. Medmrežje: <http://www.defra.gov.uk/erdp/schemes/els/online/download.htm> (15. 5. 2006)  
Sun Microsystems, Inc., MageLang Institute: *Introduction to CORBA*. 1999. <http://java.sun.com/developer/onlineTraining/corba/>

- DeLORME, *XMap/GIS Editor*. Medmrežje: <http://www.delorme.com/professional/xmapgiseditor/default.asp> (15. 5. 2006)
- Environmental Systems Research Institute, Inc., *ArcGIS Product Family*. Medmrežje: <http://esri.com/software/arcgis/index.html> (15. 5. 2006)
- Environmental Systems Research Institute, Inc., *ESRI Shapefile Technical Description*, July 1998. Medmrežje: <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf> (15. 5. 2006)
- European Commission, Directorate General JRC, Joint Research Centre-ISPRA, Olivier Léo: *Land Parcel Identification Systems in the frame of Regulation (EC) 1593/2000, version 1.4*. 2005. Medmrežje: <http://mars.jrc.it/Documents/lpis/2580DiscLPISv1.4.pdf> (15. 5. 2006)
- Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano: *GIS pregledovalnik*. 2005. Medmrežje: <http://rkg.gov.si/GERK/viewer.jsp> (15. 5. 2006)
- MySQL AB: *MySQL 4.1*. Medmrežje: <http://www.mysql.com> (15. 5. 2006)
- OpenGIS Consortium, Inc.: *Geography Markup Language*, OGC 02-023r4 v3.00. 2003. Medmrežje: <http://www.opengis.org/docs/02-023r4.pdf> (15. 5. 2006)
- OpenGIS Consortium, Inc.: *OpenGIS Simple Features Specification for SQL*. Medmrežje: <http://www.opengis.org/docs/99-049.pdf> (15. 5. 2006)
- Oracle Corporation: *Oracle Database 10g*. Medmrežje: <http://www.oracle.com> (15. 5. 2006)
- PostGIS. Medmrežje: <http://postgis.refrains.net> (15. 5. 2006)
- The Open Geospatial Consortium, Inc. (OGC). Medmrežje: <http://www.opengeospatial.org> (15. 5. 2006)

## 7 Seznam nekaterih uporabljenih kratic

CORBA: Common Object Request Broker Architecture,  
CwRS: Control Remote Sensing,  
DKN: digitalni katastrski načrt,  
GERK: grafična enota rabe kmetijskih zemljišč,  
GIS: Geographic Information Systems,  
IACS: Integrated Administrative Control System,  
IAKS: integrirani administrativni in kontrolni sistem,  
KMG: kmetijsko gospodarstvo,  
KMG-MID: identifikacijska številka kmetijskega gospodarstva,  
LPIS: Land Parcel Identification System,  
MID: medresorski identifikator,  
MKGP: Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano,  
OGC: Open GIS Community.

## INFRASTRUKTURA ZA PROSTORSKE INFORMACIJE V EVROPSKI SKUPNOSTI (INSPIRE)

**Tomaz Petek**

Geodetska uprava Republike Slovenije,  
Območna geodetska uprava Ljubljana  
Cankarjeva cesta 1, 1000 Ljubljana  
tomaz.petek@gov.si

UDK: 659.2:004:91(4)

IZVLEČEK

### **Infrastruktura za prostorske informacije v Evropski Skupnosti (INSPIRE)**

V želji, da bi zagotovili dostopnost do ustreznih harmoniziranih in kakovostnih geografskih informacij (prostorskih podatkov), sta Evropski parlament in Svet EU pripravila predlog direktive o vzpostavitvi infrastrukture za prostorske informacije v Skupnosti imenovane tudi INSPIRE. Infrastruktura naj bi bila vzpostavljena za potrebe podpora odločanju, vrednotenju in spremljanju stanja v prostoru, vodenju politik evropske unije, ki imajo vpliv ali povezano s prostorom in za potrebe občanov. Dostopnost do prostorskih podatkov in storitev naj bi bila zagotovljena s pomočjo vzpostavitve integriranih storitev (servisov), ki temeljijo na prostorskih podatkih, organiziranih v distribuiranem omrežju podatkovnih baz, vzpostavljenih na podlagi skupnih standardov in protokolov, ki omogočajo njihovo usklajenost.

KLJUČNE BESEDE

infrastruktura za prostorske podatke, direktiva INSPIRE

ABSTRACT

### **European spatial information infrastructure INSPIRE**

For creation of a European spatial information infrastructure that delivers to the users integrated spatial information services was European parliament and Council prepare draft of INSPIRE Directive. In this directive lays down general rules for the establishment of an infrastructure for spatial information in the Community, for the purposes of Community environmental policies and policies or activities which may have a direct or indirect impact on the environment. The target users of INSPIRE include policy-makers, planners and managers at European, national and local level and the citizens and their organisations.

KEYWORDS

spatial data infrastructure, directive INSPIRE



## 1 Uvod

Namen pobude INSPIRE je sprožiti vzpostavitev evropske infrastrukture prostorskih podatkov, ki bo uporabnikom zagotavljala celovite informacijske storitve o urejanju prostora. Te storitve morajo uporabnikom omogočiti, da bodo prepoznali in imeli dostop do prostorskih ali geografskih informacij iz obširnih virov od lokalne do globalne ravni, in to na tak način, da bo omogočena njihova večnamenska uporaba. Med ciljnim uporabniki pobude INSPIRE so oblikovalci politike, načrtovalci in poslovodni delavci na evropski, državni in lokalni ravni ter državljani in njihove organizacije. Med možnimi storitvami so vizualna predstavitev informacijskih nivojev, nanos informacij iz različnih virov, prostorska in časovna analiza itd. Infrastruktura prostorskih podatkov se odziva na tehnična in netehnična vprašanja, ki se gibljejo od tehničnih standardov in protokolov do organizacijskih vprašanj in vprašanj podatkovne politike, vključno s politiko dostopa do podatkov in ustvarjanjem ter vzdrževanjem geografskih informacij za široko paleto tematskih področij, začenši z okoljskim sektorjem.

V prispevku je nekoliko podrobneje predstavljen predlog direktive Evropskega parlamenta in Sveta o vzpostavitvi infrastrukture za prostorske informacije v Skupnosti (INSPIRE). Predlog je ta trenutek v postopku drugega branja v Evropskem parlamentu in bo po nekaterih napovedih lahko sprejet do konca letošnjega leta. Besedilo predloga direktive je prevzeto po uradnem prevodu Sveta, in se v postopku sprejemanja še spreminja.

Predlagana direktiva postavlja zakonski okvir za vzpostavitev in delovanje infrastrukture prostorskih podatkov v Evropi, s ciljem oblikovati, izvajati, spremljati in vrednotiti politike Skupnosti na vseh ravneh ter zagotavljati javne informacije. INSPIRE ne bo zahteval nikakršnega obsežnega zbiranja novih prostorskih podatkov v državah članicah. Namesto tega bo optimiziral obseg uporabe podatkov, ki so že na voljo, z zahtevanjem dokumentacije obstoječih prostorskih podatkov, izvajanja storitev, usmerjenih v izboljšanje dostopa do prostorskih podatkov in njihove povezanosti in reševanjem ovir, ki preprečujejo rabo prostorskih podatkov. INSPIRE bo utrl pot postopnemu usklajevanju prostorskih podatkov v državah članicah.

Glavni upravičenci po tem predlogu se bodo torej ukvarjali z oblikovanjem, izvajanjem, spremljanjem in vrednotenjem politik – na evropski, nacionalni in lokalni ravni. To so organi javne uprave, zakonodajalci ter državljani in njihove organizacije. Pričakovati pa je, da bodo koristi imele tudi druge skupine uporabnikov, vključno z zasebnim sektorjem, univerzami, raziskovalci in mediji. Predlog bo podprl oblikovanje in izvajanje širokega niza okoljskih in drugih politik.

## 2 Vsebina predloga direktive INSPIRE

Predlog direktive o vzpostavitvi infrastrukture za prostorske informacije v Skupnosti (INSPIRE) je sestavljen iz sedmih poglavij in treh prilog, (priloge I, II in III tega prispevka) v katerih so našteje posamezne zbirke prostorskih podatkov, na katere se direktiva nanaša.

**V poglavju I** so zbrane splošne določbe, ki opredeljujejo, da ta direktiva določa splošna pravila za vzpostavitev infrastrukture za prostorske informacije v Skupnosti za namene okoljskih politik Skupnosti ter politik ali dejavnosti, ki lahko neposredno ali posredno vplivajo na okolje. Infrastruktura za prostorske informacije v Skupnosti temelji na infrastrukturah za okoljske informacije, ki jih vzpostavijo in upravljajo države članice. Sestavni elementi teh infrastruktur vključujejo:

- metapodatke,
- zbirke prostorskih podatkov in
- storitve v zvezi s prostorskimi podatki,
- omrežne storitve in tehnologije,
- sporazume o souporabi, dostopu in uporabi,
- mehanizme za koordinacijo,
- nadzorne mehanizme, procese in postopke.

Predlog direktive zajema določljive zbirke prostorskih podatkov, ki izpolnjujejo naslednje pogoje:

- a) nanašajo se na področje v jurisdikciji države članice ali na njeno izključno ekonomsko cono/regijo iskanja in reševanja ali podobno;
- b) so v elektronski obliki;
- c) so v posesti enega od naslednjih:
  - i) organa javne uprave, pri čemer jih je ta organ izdelal ali prejel, jih upravlja ali dopolnjuje;
  - ii) pravne ali fizične osebe v imenu organa javne uprave;
  - iii) tretje osebe, ki so ji bile dane na razpolago storitve prenosa na strežnik;
  - iv) se nanašajo na eno ali več vsebin iz Prilog I, II ali III.

Direktiva poleg zbirk prostorskih podatkov, opredeljenih v predlogu, zajema tudi dejavnosti, ki se lahko opravijo s sklicem na računalniško aplikacijo, na prostorske podatke iz teh zbirk podatkov ali na z njimi povezane metapodatke, v nadaljnjem besedilu »storitve v zvezi s prostorskimi podatki«. Komisija lahko Priloge I, II in III prilagodi v skladu s postopkom komitologije (postopek sprejemanja odločitev v organih EU) in ob upoštevanju spreminjajoče se potrebe po prostorskih podatkih v podporo politikam Skupnosti, ki neposredno ali posredno vplivajo na okolje. V primeru zbirk prostorskih podatkov, s katerimi razpolaga organ javne uprave ali se z njimi razpolaga v imenu organa javne uprave, ter ta organ deluje na najnižji ravni države in državi članici, se ta direktiva uporablja samo za zbirke prostorskih podatkov, katerih zbiranje ali razširjanje koordinira drug organ javne uprave ali se to zahteva v skladu z nacionalno zakonodajo.

V tej direktivi se kot organi javne uprave štejejo:

- a) državna ali druga javna uprava na nacionalni, regionalni ali lokalni ravni, vključno z javnimi svetovalnimi organi;
- b) vsaka fizična ali pravna oseba, ki opravlja naloge javne uprave po nacionalni zakonodaji, vključno s posebnimi dolžnostmi, dejavnostmi ali storitvami v zvezi z okoljem;
- c) vsaka fizična ali pravna oseba, ki ima javne odgovornosti ali naloge ali opravlja storitve za javnost, ki so pod nadzorom organa ali osebe iz a) ali b).

Države članice lahko določijo, da se v primeru, kadar organi ali institucije opravljajo sodno ali institucije opravljajo sodno ali zakonodajno funkcijo, ti za namene te direktive ne smejo šteti za organe javne uprave.

V tej direktivi se uporabljajo naslednje opredelitve pojmov:

- 1) »prostorski podatki« pomenijo podatke, ki se neposredno ali posredno nanašajo na posamezno lokacijo ali geografsko območje;
- 2) »prostorski objekt« pomeni abstraktno predstavitev realno obstoječe entitete, na dejanskilokaciji ali geografskem območju;
- 3) »metapodatki« pomenijo informacije, ki opisujejo zbirke prostorskih podatkov in storitve v zvezi s prostorskimi podatki ter omogočajo njihovo iskanje, evidentiranje in uporabo;
- 4) »tretja oseba« pomeni vsako pravno ali fizično osebo, ki ni organ javne uprave.

Države članice bodo v skladu s to direktivo dolžne vzpostaviti in upravljati infrastrukturo za prostorske informacije.

**Poglavje II** je namenjeno področju metapodatkom in opredeljuje, da države članice zagotovijo, da se metapodatki izdelajo za zbirke prostorskih podatkov in storitve v zvezi s prostorskimi podatki ter da se ti metapodatki dopolnjujejo.

Metapodatki vključujejo informacije o:

- skladnosti zbirk prostorskih podatkov z izvedbenimi pravili
- pravicah uporabe zbirk prostorskih podatkov in storitev v zvezi s prostorskimi podatki;
- kakovosti in veljavnosti prostorskih podatkov;
- organih javne uprave, odgovornih za vzpostavitev, upravljanje, vzdrževanje in distribucijo (izdajanje) zbirk prostorskih podatkov in storitve v zvezi s prostorskimi podatki;
- zbirkah prostorskih podatkov, do katerih ima javnost omejen dostop, ter razlogih za tako omejitvev.

Države članice sprejmejo potrebne ukrepe za zagotovitev, popolnih in kakovostnih metapodatkov. Države članice izdelajo metapodatke 8 v skladu z naslednjim časovnim razporedom:

- a) 3 leta po začetku veljavnosti te direktive v primeru zbirk prostorskih podatkov, ki ustrezajo enemu ali več področjem, naštetih v Prilogah I in II.
- b) 6 let po začetku veljavnosti te direktive v primeru zbirk prostorskih podatkov, ki ustrezajo enemu ali več področjem, naštetih v Prilogi III.

Interoperabilnost ali večuporabnost nabora prostorskih podatkov in storitev v zvezi s prostorskimi podatki je opisana v **poglavju III**. Komisija sprejme izvedbena pravila, ki določajo usklajene specifikacije prostorskih podatkov ter dogovore za izmenjavo prostorskih podatkov. Osebam, ki potrebujejo prostorske podatke zaradi njihove vloge v prostorski informacijski infrastrukturi, ki vključuje uporabnika, proizvajalca, ponudnika storitev z dodano vrednostjo ali koordinacijsko telo, je dana možnost, da sodelujejo pri pripravi izvedbenih pravil. Namen izvedbenih pravil je omogočiti kombiniranje zbirk prostorskih podatkov oziroma vzajemno delovanje storitev na tak način, da bo rezultat ustrezna kombinacija zbirk prostorskih podatkov ali storitev, ki predstavlja dodano vrednost, ne da bi bilo potrebno posredovanje operaterja ali stroja. Izvedbena pravila, zajemajo opredelitev in razvrščanje prostorskih objektov, ki zadevajo prostorske podatke in način, kako so navedeni prostorski podatki geolocirani. V primeru zbirk prostorskih podatkov, ki ustrezajo eni ali več temam, naštetih v Prilogi I ali II, izvedbena pravila, izpolnjujejo določene pogoje.

Izvedbena pravila se nanašajo na naslednje vidike prostorskih podatkov:

- skupni sistem enotnih identifikatorjev za prostorske objekte;
- razmerje med prostorskimi objekti;
- ključne značilnosti in ustrezni večjezikovni slovarji, ki so običajno potrebni za širok obseg tematskih politik;
- način izmenjave informacij o časovni komponenti podatkov;
- način izmenjave posodobitve podatkov;

Namen izvedbenih pravil je zagotoviti konsistentnost med postavkami informacij, ki se nanašajo na isto lokacijo ali med postavkami informacij, ki se nanašajo na isti objekt, predstavljen v različnih obsegih.

Izvedbena pravila, se sprejmejo v skladu z naslednjim časovnim razporedom:

- do 2 let po začetku veljavnosti direktive INSPIRE v primeru zbirk prostorskih podatkov, ki ustrezajo eni ali več temam, naštetih v Prilogi I;
- do 5 let po začetku veljavnosti te direktive v primeru zbirk prostorskih podatkov, ki ustrezajo eni ali več temam, naštetih v Prilogi II ali III;

Države članice zagotovijo, da so zbirke prostorskih podatkov, ki nastanejo ali se vzdržujejo v obdobju več kot dve leti po datumu sprejetja ustreznih specifikacij, usklajene z navedenimi specifikacijami s prilagoditvijo zbirk prostorskih podatkov ali z njihovo transformacijo. Države članice zagotovijo, da so katere koli informacije ali podatki, potrebni za skladnost z izvedbenimi pravili, dani na razpolago organom javne uprave ali tretjim osebam v skladu s pogoji, ki ne omejujejo njihove uporabe za navedeni namen. Da bi zagotovili, da so prostorski podatki, ki se nanašajo na prostorsko značilnost, katere lokacija zajema mejno območje med dvema državama članicama, usklajeni, se države članice, kadar je to možno, soglasno odločijo o opisu in položaju teh skupnih značilnosti.

V **poglavju IV** so opisane tako imenovane omrežne storitve. Države članice vzpostavijo in upravljajo s sistemom prenosa/izmenjave podatkov. Sistem mora zagotoviti dostop do metapodatkov, podatkovnih zbirk in drugih storitev. Storitve tega sistema bodo morale biti na voljo organom javne uprave. Države članice vzpostavijo in upravljajo omrežje naslednjih storitev za zbirke prostorskih podatkov in storitve, za katere so bili ustvarjeni metapodatki v skladu s to direktivo:

- a) **storitve iskanja**, ki omogočajo iskanje zbirk prostorskih podatkov in storitve prostorskih podatkov na podlagi vsebine ustreznih metapodatkov in prikazovanje vsebine metapodatkov;
- b) **storitve pregledovanja**, ki omogočajo vsaj prikazovanje, različne poglede, povečavo/pomanjšavo, izločitev ali prekritje naborov prostorskih podatkov in prikazovanje napotkov in vseh ustreznih vsebin metapodatkov;

- c) **storitve prenosa podatkov**, ki omogočajo prenos kopij celotnih zbirk ali delov zbirk prostorskih podatkov;
- d) **storitve transformacije**, ki omogočajo transformacijo zbirk prostorskih podatkov;
- e) »**storitve dostopa do prostorskih podatkov**«, ki omogočajo priklic storitev za dostop do podatkov; Te storitve bodo preproste za uporabo in dostopne prek spleta ali katerega koli drugega ustreznega telekomunikacijskega sredstva, ki je na razpolago javnosti.

Za storitve iskanja se uporablja vsaj naslednja kombinacija iskalnega kriterija:

- a) ključne besede;
- b) razvrščanje prostorskih podatkov in storitev;
- c) kakovost prostorskih podatkov;
- d) stopnja skladnosti z usklajenimi specifikacijami;
- e) lokacija;
- f) pogoji, ki se uporabljajo za dostop do zbirk prostorskih podatkov in storitev ter za njihovo uporabo;
- g) organi javne uprave, odgovorni za vzpostavitev, upravljanje, vzdrževanje in distribucijo zbirk prostorskih podatkov in storitev.

Storitve transformacije se povezujejo z drugimi storitvami iz navedenega odstavka tako, da se omogoči delovanje vseh teh storitev v skladu z izvedbenimi pravili.

Države članice lahko omejijo javni dostop do posameznih storitev, kadar bi tak dostop lahko škodoval:

- zaupnosti postopkov organov javne uprave, če tako zaupnost predvideva zakon;
- mednarodnim odnosom, javni varnosti ali državnim obrambi;
- postopkom na sodiščih, možnosti katere koli osebe, da je deležna pravičnega sojenja ali možnosti organov javne uprave, da vodijo poizvedbo kazenske ali disciplinske narave;
- zaupnosti poslovnih ali industrijskih informacij, kadar tako zaupnost določa nacionalna zakonodaja ali zakonodaja Skupnosti, da bi zaščitila zakonite ekonomske interese, vključno z javnimi interesi, pri vzdrževanju zaupnosti o statistiki in davčne tajnosti;
- zaupnosti osebnih podatkov in/ali datotek, ki se nanašajo na fizično osebo, kadar ta oseba ni privolila v razkritje informacij javnosti, če tako zaupnost določata nacionalna zakonodaja ali zakonodaja Skupnosti;
- varstvu okolja, na katerega se taka informacija nanaša, na primer o nahajališču redkih vrst.

Razlogi za omejitev dostopa, se razlagajo omejevalno, ob upoštevanju javnega interesa za posebni primer, podprtega z omogočanjem tega dostopa. V vsakem posebnem primeru se interes javnosti ob razkritju tehta z interesom, če se dostop do teh informacij omejuje ali pogojuje. Države članice zagotovijo, da so storitve, iskanja in pregledovanja na razpolago javnosti brezplačno. Če organi javne uprave obračunavajo stroške za storitve prenosa in dostopa do prostorskih podatkov, države članice zagotovijo, da so na voljo storitve e-trgovine. Komisija vzpostavi in upravlja geoportal Skupnosti. Države članice prek geoportala Skupnosti zagotovijo dostop do storitev iz te direktive. Države članice lahko tudi zagotovijo dostop do navedenih storitev prek svojih lastnih točk dostopa.

**Poglavje V** govori o skupni rabi in ponovni uporabi prostorskih podatkov. Države članice sprejmejo ukrepe za souporabo zbirk prostorskih podatkov in storitev med organi javne uprave. Navedeni ukrepi omogočajo organom javne uprave držav članic in institucijam ter telesom Skupnosti, da dostopajo do zbirk prostorskih podatkov in storitev ter izmenjujejo in uporabljajo navedene zbirke in storitve za naloge javnega značaja, ki imajo lahko neposredni ali posredni vpliv na okolje. Komisija bo sprejela izvedbena pravila, s katerimi bo uredila tak dostop in s tem povezane pravice uporabe. Komisija sprejme izvedbena pravila za povečanje možnosti ponovne uporabe zbirk prostorskih podatkov in storitev s strani tretjih oseb. Ta izvedbena pravila lahko vključujejo določitev skupnih pogojev za izdajo licenc.

Področje koordinacije in dopolnilnih ukrepov opredeljeno v **poglavju VI**. Države članice določijo ustrezne strukture in mehanizme za usklajevanje vseh, ki potrebujejo infrastrukturo prostorskih informacij, to je uporabnike, proizvajalce, ponudnike storitev z dodano vrednostjo in usklajevalna telesa.

Navedeno usklajevanje vključuje ugotavljanje potreb uporabnikov, zagotavljanje informacij o primestnih dobre prakse in zagotavljanje povratnih informacij o izvajanju te direktive. Komisija je odgovorna za usklajevanje infrastrukture za prostorske informacije v Skupnosti na ravni Skupnosti, pri tem pa ji pomaga Evropska agencija za okolje. Vsaka država članica bo v skladu s to direktivo dolžna določiti organ javne uprave, ki bo odgovoren za stike s Komisijo.

**Poglavje VII** vsebuje končne določbe, ki govorijo da morajo države članice spremljati izvajanje in uporabo svojih infrastruktur za prostorske informacije v skladu z izvedbenimi pravili, ki jih je sprejela Komisija. Države članice poročajo Komisiji o izvajanju te direktive in o pridobljenih izkušnjah pri njeni uporabi. Poročilo mora vsebovati:

- a) opis o usklajenosti ponudnikov javnega sektorja, uporabnikov zbirk prostorskih podatkov in storitev ter posredniških organov ter opis odnosov s tretjimi osebami in opis načina zagotavljanja kakovosti;
- b) opis prispevka, ki so ga doprinesli organi javne uprave ali tretje osebe k delovanju in usklajevanju infrastrukture za prostorske informacije;
- c) povzetek razpoložljivosti in kakovosti zbirk prostorskih podatkov ter razpoložljivosti in učinkovitosti storitev na področju zagotavljanja prostorskih podatkov;
- d) povzetek informacij o uporabi prostorske infrastrukture;
- e) opis sporazumov v souporabi med organi javne uprave;
- f) povzetek stroškov in koristi od izvajanja te direktive.

Poročilo, se pošlje Komisiji vsake tri leta in sicer prvič tri leta po začetku veljavnosti te direktive. Komisiji pomaga odbor. Odbor sprejme svoj poslovnik. Komisija predstavi Evropskemu parlamentu in Svetu 7 let po datumu začetka veljavnosti in nadalje vsakih šest let poročilo o uporabi te direktive. Države članice sprejmejo zakone in druge predpise, potrebne za uskladitev s to direktivo, 2 leti po datumu začetka veljavnosti. Države članice komisiji nemudoma predložijo besedila navedenih predpisov in korelacijsko tabelo med navedenimi predpisi in to direktivo. Države članice se v sprejetih predpisih sklicujejo na to direktivo ali pa naj sklic nanjo navedejo ob njihovi uradni objavi. Način sklicevanja določijo države članice same. Države članice predložijo Komisiji besedila temeljnih predpisov nacionalne zakonodaje, sprejetih na področju, ki ga bo urejala ta direktiva. V nadaljevanju so navedene še vsebine iz posameznih prilog.

### 3 Sklep

Doslej na področju upravljanja s prostorskimi podatki Evropska unija ni imela predpisanih podrobnejših usmeritev. Predlog direktive INSPIRE dopolnjuje druge politične iniciative kot je Direktiva o večkratni uporabi in komercialni rabi informaciji javnega značaja (PSI).

Ministrstvo za okolje in prostor ter Geodetska uprava Republike Slovenije sta že doslej ves čas izražala podporo pripravi predloga direktive INSPIRE z željo po uspešni izvedbi harmonizacije prostorskih podatkov, vzpodbujanju njihove medsebojne izmenjave in njihove dostopnosti za čim širši krog uporabnikov. Slovenija namreč že v tem trenutku izpolnjuje precejšen del usmeritev in zahtev ki izhajajo iz predloga direktive INSPIRE. Danes imamo v Sloveniji na voljo dovolj temeljnih prostorskih podatkov, ki so uporabnikom enostavno dostopni in dokaj redno vzdrževani. Pozitivno lahko ocenimo je tudi metapodatkovni sistem, ki uporabnikom olajša iskanje in daje informacije o obstoju posameznih podatkovnih nizov, njihovi kakovosti in pogoji dostopa ter cenovne politike. Delitev cenovne politike na komercialne in nekomercialne načine uporabe prostorskih podatkov ter način financiranja prve vzpostavitev podatkovnih nizov je tudi v Sloveniji rešena podobno, kot jo predvideva predlog direktive. Obstoječa zakonodaja, ki ureja evidentiranje nepremičnin, prostorsko načrtovanje in uporabo informaciji javnega značaja sta skupaj z zakonodajo o elektronskem poslovanju in elektronskem podpisu in zakonodajo na področju varstva osebnih podatkov izredno dobra pravna podlaga za vzpostavitev geoinformacijske infrastrukture v Sloveniji.

## 4 Viri in literatura

Besedilo predloga direktive INSPIRE (2004/0175 (COD)) 12064/05

Spletna stran MOP o direktivi INSPIRE; <http://www.gov.si/mop/inspire.si>

Utemeljitev Sveta – skupno stališče 12064/2/05 z dne 23. 1. 2006

Amandmaji EP v drugem branju (1–35) z dne 1. 2. 2006 in dodatni amandmaji EP (36–43) z dne 24. 2. 2006

Sporočilo Komisije Evropskemu parlamentu 6334/06 z dne 14. 2. 2006

Zadnje stališče Slovenije do amandmajev EP za sejo delovne skupine za okolje pri Svetu (skupaj z dopolnitvami ki jih je posredovala Geodetska uprava RS)

Zapis zadnje seje DS za okolje z dne 1. 3. 2006

Priloga I:

1. Koordinatni referenčni sistemi
2. Geografski koordinatni sistemi
3. Zemljepisna imena
4. Prostorske enote upravnega pomena
5. Prometna omrežja
6. Hidrografija
7. Zavarovana območja

Priloga II:

1. Digitalni modeli višin
2. Naslov
3. Zemljiškokatastrske parcele
4. Pokrovnost tal
5. Ortofoto

Priloga III:

1. Prostorske enote
2. Stavbe
3. Tla
4. Geologija
5. Raba tal
6. Zdravje ljudi in njihova varnost
7. Vladna služba in naprave za nadzor okolja
8. Proizvodni in industrijski objekti
9. Kmetijski in ribogojški objekti
10. Porazdelitev prebivalstva – demografija
11. Območja upravljanja/omejitev/urejevanja in poročevalske enote
12. Območja naravnega tveganja
13. Atmosferski pogoji
14. Meteorološke geografske značilnosti
15. Oceanografske geografske značilnosti
16. Morske regije
17. Biogeografske regije
18. Habitati in biotopi
19. Razdelitev vrst







Po mnenju svetovalcev Evropske komisije najbolj odzivni GIS sistem za GERK\* v EU

# giselle

cosylab  
CONSULTING SYSTEM LABORATORY

*Giselle je družina proizvodov in storitev za vnašanje, urejanje in prikaz distribuiranih GIS vsebin preko intra- in interneta*

Optimirana internetna zasnova  
Giselle nudi odlično učinkovitost GIS sistema:

- pri obdelavi velikih količin podatkov
- za več tisoč sočasnih uporabnikov
- kadar potrebujete hitro odzivnost
- preko običajnih internetnih povezav
- na vseh računalniških okoljih

Omogoča velike prihranke pri izgradnji in uporabi celovite GIS storitve:

- do 5 – krat nižji stroški za potrebno strojno opremo
- spletni GIS urejevalnik za ArcSDE™ in ORACLE® Spatial zmanjša število potrebnih licenc
- kratek čas vpeljave uporabnikov
- združljiv z obstoječimi rešitvami ESRI™

Nudimo zanimivo delo in izzive v mednarodnem okolju:

Izkušene strokovnjake in nadarjene študente vabimo, da se nam pridružijo kot svetovalci, občasni sodelavci ali redno zaposleni.

\*GERK (grafične enote rabe kmetijskih zemljišč) sistem je slovenska oznaka za LPIS, ki je širom EU uporabljen za prijavljanje rabe kmetijskih zemljišč za EU subvencijo.

[www.cosylab.com](http://www.cosylab.com)

# GISDATA

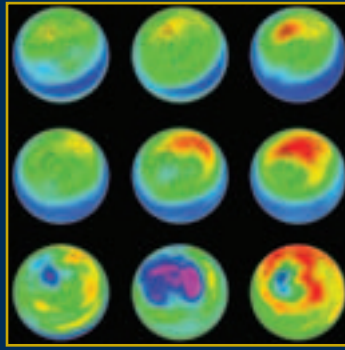
## Effective Solutions

### GIS/GPS tehnologije in rešitve

tel: 01/520-39-00

splet: [www.gisdata.si](http://www.gisdata.si)

e-pošta: [info@gisdata.si](mailto:info@gisdata.si)



ISBN 961-6568-55-8



9 789616 568555

4.793 SIT / 20 €