GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SISTEMI V SLOVENIJI 2007–2008

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

9

ZALOŽBA
ZRC

GIS V SLOVENIJI 9

GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SISTEMI V SLOVENIJI 2007–2008

ZALOŽBA
Z R C

GIS V SLOVENIJI 9

GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SISTEMI V SLOVENIJI 2007–2008

Uredili:

Drago Perko
Matija Zorn
Nika Razpotnik
Marjan Čeh
David Hladnik
Marko Krevs
Tomaž Podobnikar
Blaž Repe
Radoš Šumrada

LJUBLJANA 2008

GIS V SLOVENIJI 9

GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SISTEMI V SLOVENIJI 2007–2008

Drago Perko, Matija Zorn, Nika Razpotnik, Marjan Čeh, David Hladnik, Marko Krevs, Tomaž Podobnikar, Blaž Repe, Radoš Šumrada

© 2008, Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

Uredniki: Drago Perko, Matija Zorn, Nika Razpotnik, Marjan Čeh, David Hladnik, Marko Krevs, Tomaž Podobnikar, Blaž Repe, Radoš Šumrada
Recenzenta: Matej Gabrovec, Marjan Ravbar

Izdajatelja: Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU
Za izdajatelja: Drago Perko
Soizdajatelji: Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU, Zveza geografskih društev Slovenije in Zveza geodetov Slovenije
Za soizdajatelje: Ivan Šprajc, Matej Gabrovec, Jurij Režek

Založnik: Založba ZRC
Za založnika: Oto Luthar
Glavni urednik: Vojislav Likar

Prelom: SYNCOMP d. o. o., Ljubljana
Tisk: Collegium graphicum d. o. o.
Naklada: 300 izvodov

Naslovnica:
Slika na naslovnici, ki prikazuje potek soške fronte med 1. svetovno vojno, je vzeta iz poglavja 3R-upodobitev gorskih bojišč soške fronte. Avtorji poglavja so Matija Klanjšček, Dušan Petrovič in Dalibor Radovan.

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)

GEOGRAFSKI informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008 / uredili Drago Perko … [et al.]. – Ljubljana : Založba ZRC, 2008. – (GIS v Sloveniji, ISSN 1855-4954 ; 9)

ISBN 978-961-254-082-1
1. Perko, Drago, 1961–
240238336

VSEBINA

Uvodnik ... 9

Mauro Hrvatin, dr. Drago Perko
Morfološka analiza površja z geografskim informacijskim sistemom ... 13

dr. Tomaž Podobnikar, Peter Možina
Analiza oblik površja z uporabo lokalnega okna ... 29

dr. Marko Komac, mag. Dušan Fajfar, Damijan Ravnik, dr. Mihael Ribičič
Nacionalna podatkovna baza zemeljskih plazov ... 41

dr. Matija Zorn, dr. Blaž Komac
Modeliranje plazovitosti s pomočjo Dempster-Shaferjevega algoritma ... 53

dr. Krištof Oštir, dr. Marko Komac
Primerjava uporabe metodologije PSInSAR in DInSAR za opazovanje premikov površja – primer severozahodne Slovenije ... 63

dr. Tomaž Podobnikar, dr. Balázs Székely
Poskus analize potencialno nevarnih vršajev z DMR-jem ... 73

dr. Blaž Komac, dr. Matija Zorn
Izračun vpliva sprememb rabe tal na erozijo v Zgornjem Posočju s pomočjo GIS ... 83

dr. Dušan Petrovič, mag. Dejan Grigillo, Jure Gnilšek, Rok Vezočnik, dr. Mojca Kosmatin Fras
Lasersko skeniranje Železne jame in možnosti uporabe zajetih podatkov ... 95

Gašper Rak, dr. Franci Steinman, mag. Leon Gosar
Kartiranje poplavno ogroženih območij v skladu z novo zakonodajo v Sloveniji ... 107

Peter Pehani, Žiga Kokalj, Aleš Marsetič, dr. Krištof Oštir
Uporaba satelitskih posnetkov za analizo poplav septembra 2007 ... 117

Nejc Pogačnik, dr. Christoph Roch, mag. Leon Gosar
Hidrološki prognostični sistem: uporaba prostorskih podatkov ... 129

Peter Frantar
Vodna bilanca, GIS in ontologija ... 143

Dunja Vrenko, dr. Lidija Globevnik, Marko Kovačič
Podatkovni model za integracijo Vodne direktive v WISE ... 153

mag. Leon Gosar, dr. Franc Steinman, Gašper Rak
Umeščanje vodnih sistemov v prostorske vizualizacije ... 161

dr. Klemen Zakšek
Določitev zveznega polja temperature zraka iz satelitskih podatkov ... 171

dr. Borut Vrščaj
Digitalna kartografija tal v Slovenji med letoma 1987 in 2007 – razvoj, dosežki in bodoče izboljšave ... 183

dr. Blaž Repe
Ugotavljanje razprostranjenosti tipov prsti v pokrajini z uporabo klasifikacijskih metod daljinskega zaznavanja ... 195

Špela Fajon, dr. Andreja Ferreira, Anže Japelj, Mihej Urbančič
Model za vrednotenje hidrološke vloge gozda ... 207

Mitja Skudnik, dr. Marko Kovač, dr. David Hladnik
Možnosti izdelave in vzdrževanja kart gozdnih sestojev ... 219

Tomaž Šturm
Analiza kakovosti Sestojne karte Slovenije ... 227

dr. Maja Zagmajster, dr. Boris Sket, dr. David C. Culver
Prikaz razporeditve vrstne pestrosti podzemeljskih hroščev z uporabo interpolacijskih metod ... 237

Vesna Dežman Kete, Anita Ipša, Nika Mesner, mag. Katja Oven
Prepoznavanje kmetijskih kultur z daljinskim zaznavanjem ... 247

Igor Bizjak
Model medmrežnega sistema za podporo odločanju pri izbiri lokacij za industrijske cone ... 259

Nataša Kolega, Aljoša Žerjal, Boštjan Krapež, Petra Slavec
Uporaba lidarskih podatkov za občinsko prostorsko načrtovanje in upravljanje ... 267

Blaž Barborič, Mihaela Triglav Čekada, Sandi Berk, dr. Mojca Kosmatin Fras
Metodologija za izboljšavo in harmonizacijo geodetskih podlag za potrebe čezmejnega prostorskega načrtovanja ... 273

Aleš Perovšek, Miloš Pegan
Informacijska tehnologija izvedbe javnega vpogleda v Evidenco trga nepremičnin ... 287

mag. Robert Robek, Jaka Klun
Stanje in perspektive uporabe GPS pri projektiranju gozdnih prometnic v Sloveniji ... 293

mag. Samo Drobne, dr. Bojan Stopar, mag. Oskar Sterle, dr. Mitja Lakner
Določitev razdalj med izbranimi lokacijami v Sloveniji ... 303

dr. Marjan Čeh, dr. Alma Lamovšek Zavodnik, Janez Rom, Damijan Kiderič
Analiza dostopnosti prebivalstva do javnih dejavnosti z javnim potniškim prometom s pomočjo dveh GIS gravitacijskih modelov ... 311

Žiga Kokalj, dr. Klemen Zakšek, dr. Krištof Oštir
Uporaba laserskega skeniranja za opazovanje preteklih pokrajin – primer okolice Kobarida ... 321

Matija Klanjšček, mag. Dalibor Radovan, dr. Dušan Petrovič
3R-upodobitev gorskih bojišč soške fronte ... 331

dr. Benjamin Štular
Vloga kulturne dediščine pri trajnostnem razvoju varovanih območij na primeru arheološke dediščine v Kamniško-Savinjskih Alpah ... 341

Grega Juvan, Barbara Čenčur Curk
Primerjava metod določanja naravne ranljivosti na območju Krvavca ... 355

Barbara Ploštajner, Mojca Kunst
Uporaba GIS-a pri pripravi načrta upravljanja za Kozjanski regijski park ... 365

dr. Tomaž Podobnikar, dr. Jožica Škofic, Mojca Horvat
Določanje območij krajevnih govorov za Slovenski lingvistični atlas ... 375

dr. Marko Krevs, Boštjan Burger
Prostorske slike v geografskih informacijskih sistemih ... 393

Bojan Rupnik, dr. Gregor Klajnšek, dr. Borut Žalik
Vizualizacija velikega terena v realnem času ... 403

mag. Dalibor Radovan
Omrežje *SIGNAL* na poti od GPS do Galilea ... 411

mag. Dušan Fajfar, mag. Ksenija Majcen, Gabrijela Küzma, dr. Borut Žalik
Prikaz lokacije kličočega ob klicu v sili (112) ... 417

dr. Dušan Petrovič, mag. Samo Drobne, dr. Radoš Šumrada
Vloga GIS-ov v novih študijskih programih Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani ... 425

dr. Marko Krevs
Temeljna geoinformacijska znanja na različnih ravneh javnega izobraževanja ... 433

UVODNIK

Pred vami je deveta monografija, s katerimi od leta 1991 bienalno predstavljamo vsakokratni presek dveletnega znanstvenega, strokovnega in pedagoškega dela na področju razvoja in uporabe geografskih informacijskih sistemov v Sloveniji.

Zaradi utečenega izhajanja smo se odločili, da iz monografij oblikujemo knjižno zbirko Geografski informacijski sistemi v Sloveniji, naslov vsakokratne knjige pa kot doslej dopolnimo z letnicama, na kateri se nanaša.

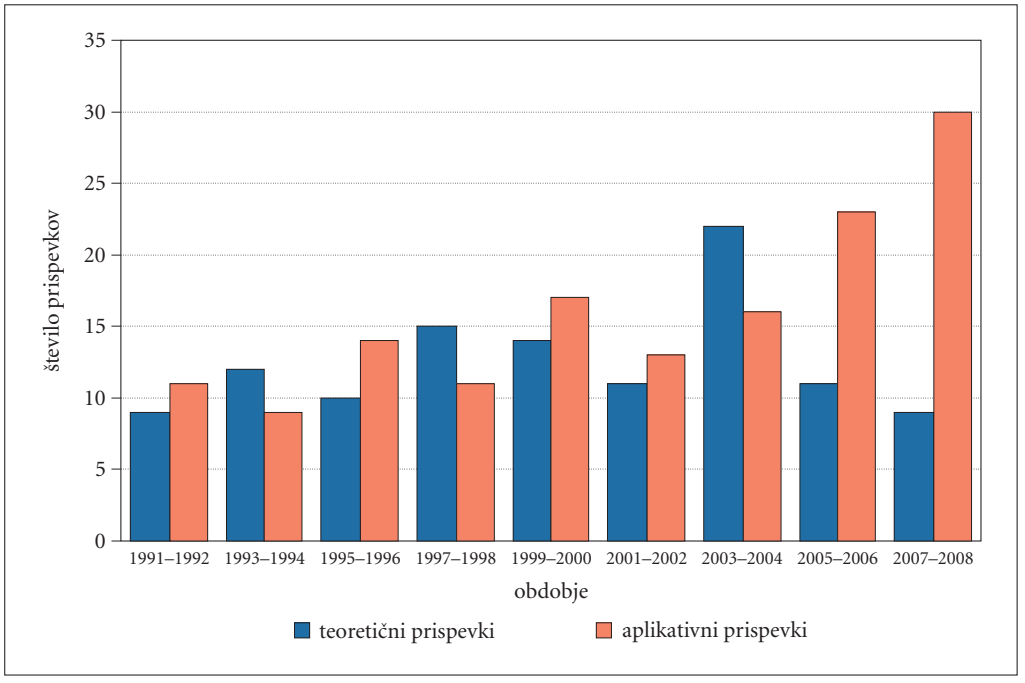
Tokratna monografija vsebuje 42 znanstvenih in strokovnih poglavij, ki jih je uredniški odbor izbral izmed prispevkov, poslanih na razpis. najbolj zanimive prispevke je izbral za predstavitev na simpoziju z enakim naslovom, kot ga nosi ta knjiga. Več o simpoziju je na voljo na spletnem naslovu http://slogis.zrc-sazu.si/.

Od začetka našega delovanja vabimo k sodelovanju vse, ki pri svojem delu uporabljate geografske informacijske sisteme – ne glede na stroko ali področje dela. Preprosta analiza prispevkov pokaže izjemno raznovrstnost prispevkov. Skupaj z letošnjimi jih je bilo doslej objavljenih 260. Njihovo strukturo osvetljujemo s treh vidikov:

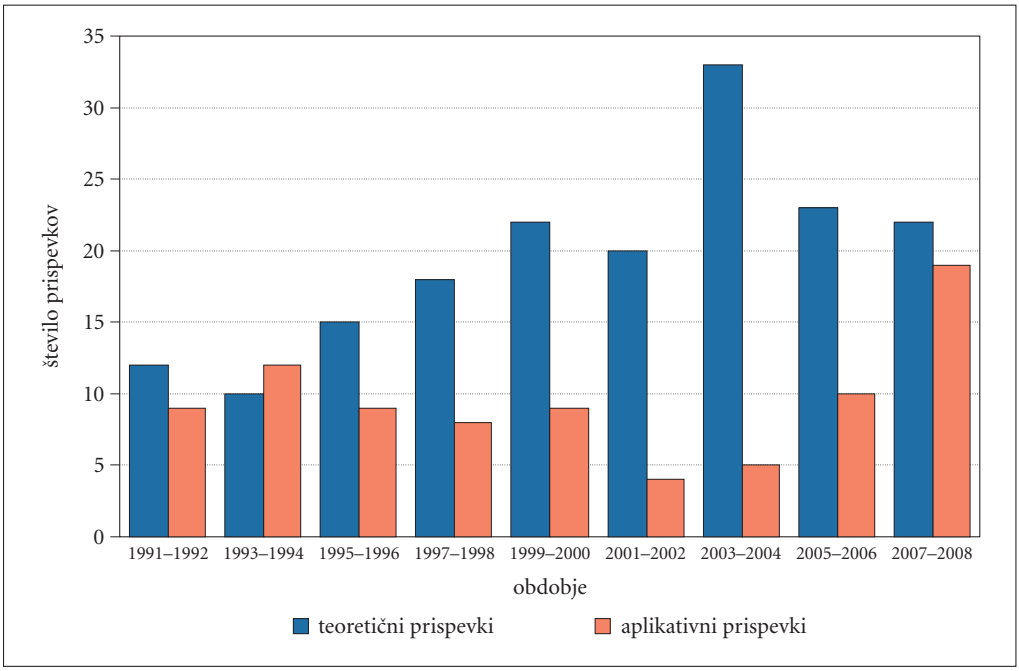
- razmerja med »teoretičnimi« in »aplikativnimi« prispevki,
- razmerja med »znanstvenimi« in »preglednimi«, strokovnimi prispevki ter
- razmerij med prispevki z različnih geoinformacijskih področij.

Kadar je bilo posameznemu prispevku mogoče pripisati značilnosti več kategorij hkrati, smo ga uvrstili v »prevladujočo« kategorijo. Zato je obravnava strukture prispevkov le približna, a vendarle kaže nekatere opaznejše poteze njenega spreminjanja v obravnavanem obdobju.

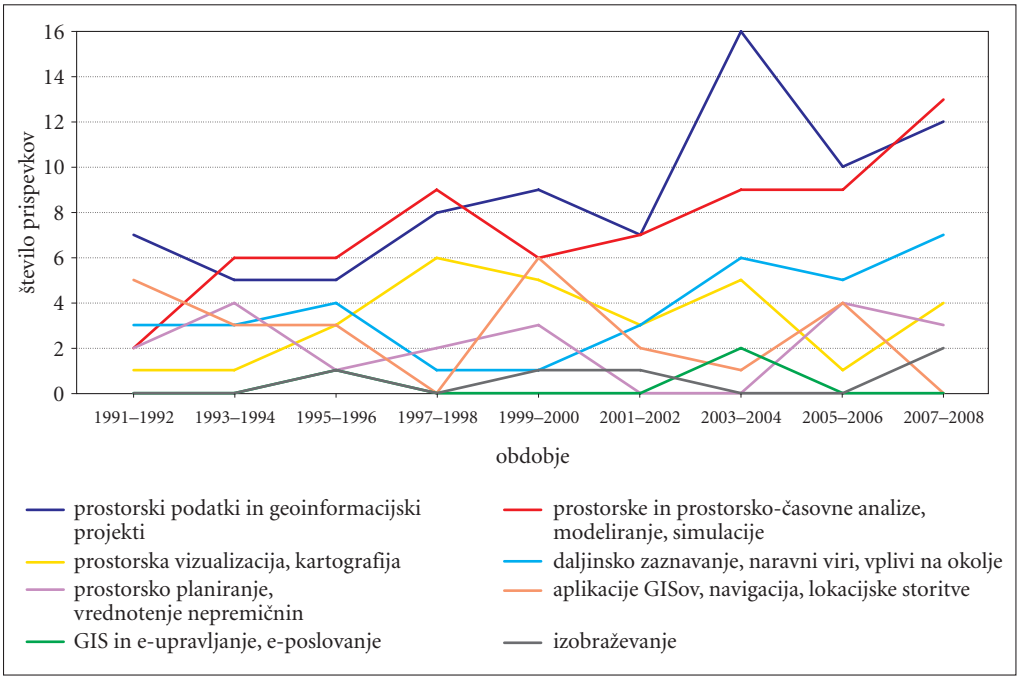
Razmerje med »teoretičnimi« in »aplikativnimi« prispevki (slika 1) je bilo do leta 2004 večinoma uravnoteženo, nato pa opažamo stopnjevanje prevlade »aplikativnih« del. Po letu 2004 beležimo tudi



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.

izrazito zmanjšanje razkoraka med znanstvenimi in strokovnimi prispevki (slika 2) ter precejšnje razlike v zastopanosti posameznih geoinformacijskih področij (slika 3). Po letu 2000 izraziteje prevladujejo vsebine, ki se nanašajo prostorske podatke v najširšem smislu ter geoinformacijske (prostorske, prostorsko-časovne) analize in modeliranje. Vztrajno se povečuje količina prispevkov, ki obravnavajo daljinsko zaznavanje, geoinformacijsko podporo proučevanju vplivov na okolje in upravljanju z naravnimi viri. Z vsaj dvema člankoma so v letošnji knjigi predstavljene še tematike, ki se navezujejo na geoinformacijsko vizualizacijo, uporabo GIS-ov v prostorskem načrtovanju ali geoinformacijsko izobraževanje.

Opažamo, da se je v osemnajstih letih izhajanja knjig Geografski informacijski sistemi v Sloveniji in še nekoliko daljšem obdobju objav s področja geoinformatike razširila uporaba vrste (večinoma žargonskih) terminoloških nepravilnosti. V tokratnem uvodniku izpostavljamo zapisovanje same kratice GIS, ki se nedosledno uporablja celo znotraj posameznih besedil. Zavzemamo se za dosledno uporabo pravopisnih pravil: »*… končnice kratičnih imen, ki se končujejo na soglasnik, pišemo z malo, s stičnim vezajem* …« (Slovenski pravopis 2001). GIS uporabljamo kot samostalnik moškega spola. Predlagamo naslednjo edninsko oziroma množinsko rabo:

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

Sprememba starih (četudi napačnih) navad seveda terja nekaj naporov, zlasti tistih, ki s(m)o na tem področju dejavni že daljši čas. Vendarle lahko umikanje nedosledne, žargonske rabe temeljnih terminov našega skupnega področja delovanja dojemamo tudi kot zunanji znak zorenja geoinformatike v Sloveniji.

Veseli nas, da se znanstvena, strokovna in pedagoška uporaba geografskih informacijskih sistemov v Sloveniji stopnjuje. Obenem si želimo, da bi povečevanje in pestritev rabe GIS-ov prispevali k nadaljnjemu zmanjšanju zaprtosti tega delovnega področja v okvire posameznih strok ali ustanov. K temu naj bi vsaj nekoliko prispeval tudi začetek razprave v zvezi z možnostmi opredelitve »minimalnih skupnih učnih vsebin« s področja geoinformatike, ki je predstavljen v tej knjigi.

Marko Krevs
Marjan Čeh
David Hladnik
Drago Perko
Tomaž Podobnikar
Nika Razpotnik
Blaž Repe
Radoš Šumrada
Matija Zorn

MORFOLOŠKA ANALIZA POVRŠJA Z GEOGRAFSKIM INFORMACIJSKIM SISTEMOM

Mauro Hrvatin, dr. Drago Perko
Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU
mauro@zrc-sazu.si, drago@zrc-sazu.si

UDK: 551.43:659.2:004(497.4)
COBISS: 1.16

IZVLEČEK
Morfološka analiza površja z geografskim informacijskim sistemom
Z razvojem geografskih informacijskih sistemov se je močno povečalo število metod in kazalnikov za določanje, analizo in razvrščanje morfoloških enot površja na različnih velikostnih ravneh. V prispevku predstavljamo, primerjamo in vrednotimo nekatere najpomembnejše, ki smo jih testirali na primerih reliefno različnih tipov pokrajine v Sloveniji.

KLJUČNE BESEDE
relief, površje, digitalni model višin, morfološka enota, Slovenija, analiza postopkov

ABSTRACT
Morphological analysis of surface with geographic information system
The number of methods and indicators for determination, analysis and classification of surface morphological units at different scales has strongly increased with the development of geographic information system. In the article we present, compare and evaluate some of the most important methods, which were tested in example areas with different relief in Slovenia.

KEY WORDS
relief, surface, digital elevation model, morphological unit, Slovenia, analysis of algorithms

1 Uvod

Relief ali izoblikovanost površja je najpomembnejša sestavina slovenskih pokrajin, saj odločilno vpliva na njihove naravne sestavine in največ prispeva k njihovi zunanji podobi (Perko 1998; Perko 2001; Hrvatin, Perko 2002, 2003), pomembno pa vpliva tudi na družbene sestavine slovenskih pokrajin, predvsem na poselitev in gospodarstvo (Perko 2007). Prav zato moramo pri raziskovanju pokrajine in pri večini najrazličnejših posegov v pokrajino kot pomemben dejavnik upoštevati tudi relief. Pri sodobnih geografskih raziskavah je ob razcvetu geografskih informacijskih sistemov skoraj nepogrešljiv njegov navidezni prikaz, ki ga omogoča digitalni model višin.

Z analizo razmestitve celic digitalnega modela višin oziroma njihovih prostorskih razmerij lahko na različnih velikostnih ravneh ugotavljamo značilnosti in oblike površja. Ločimo temeljne ali splošne morfometrične lastnosti površja, ki temeljijo na analizi višin celic na določeni prostorski enoti, in posebne morfometrične lastnosti površja, ki temeljijo na posebnih, vnaprej določenih razmestitvah višin celic in se kažejo v značilnih oblikah površja, kot so slemena, vrhovi, kotline in podobno.

Za določanje splošnih in posebnih lastnosti površja smo uporabili module za geomorfološko analizo in klasifikacijo morfoloških enot površja pri treh programih, ki so prosto dostopni na spletu: LANDSERF, SAGA in TAS. Razlike med njimi smo testirali na štirih reliefno različnih tipih pokrajine v Sloveniji. Uporabili smo 25-metrski digitalni model višin (Geodetska uprava … 2005).

2 Izbrana območja

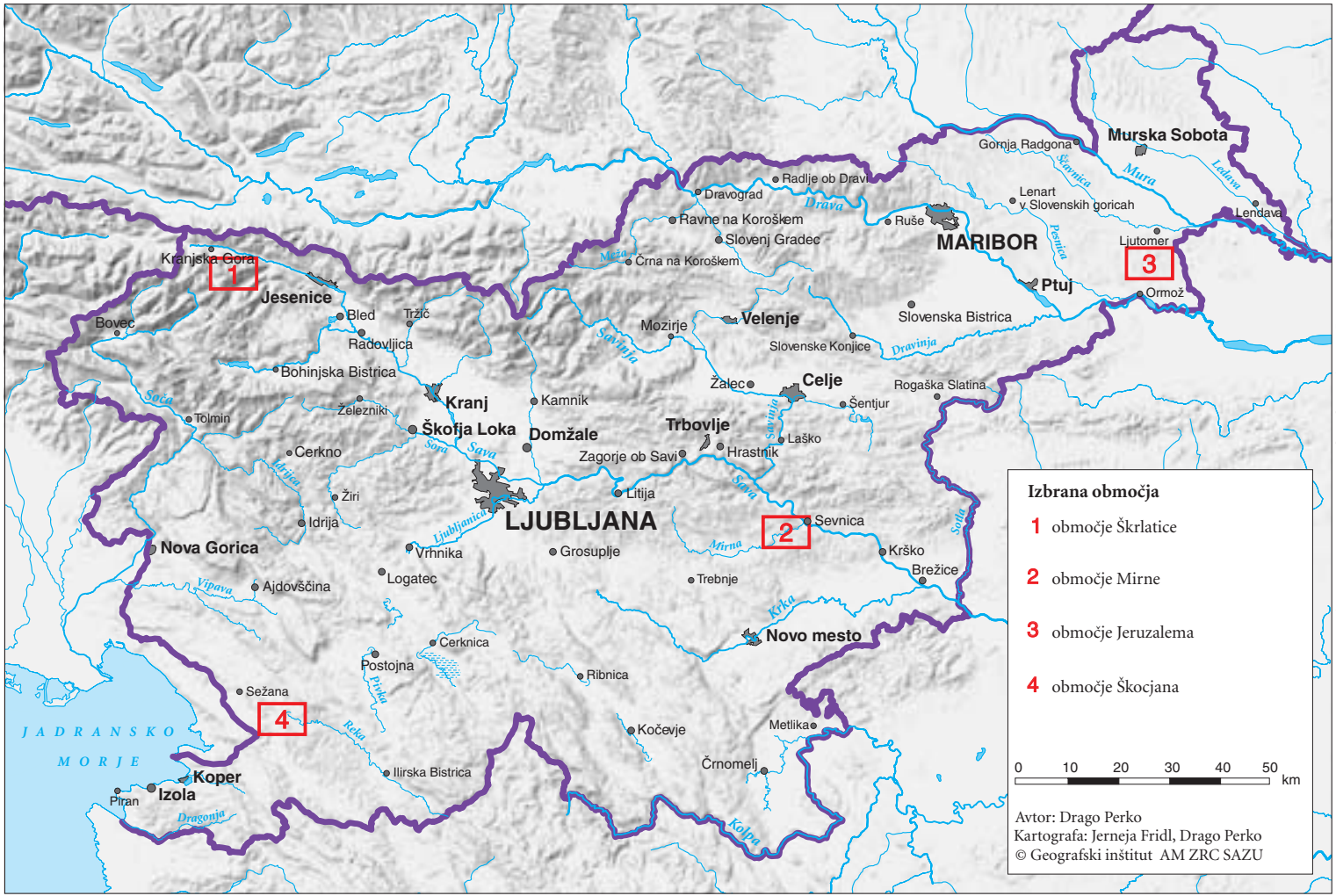
Za primerjanje metod določanja morfoloških enot površja smo izbrali štiri območja, ki se razlikujejo predvsem glede na morfološki in genetski tip reliefa (Gabrovec, Hrvatin 1998), razgibanost površja (Perko 2007) ter kamninsko sestavo (slika 1). Poimenovali smo jih po gori Škrlatici v Julijskih Alpah, Savinem pritoku Mirni ter vaseh Jeruzalem v Slovenskih goricah in Škocjan blizu Škocjanskih jam. Območja so pravokotni izseki z dolžino 9 km, širino 6 km in površino 54 km^2

Območje Škrlatice (slika 2) leži v severnem delu Vzhodnih Julijskih Alp. Obsega Škrlatiške in Martuljške gore, ki se dvigajo nad gozdno mejo in krepko presegajo 2000 m nadmorske višine. Mogočno gorsko skupino omejuje na severu dolina Save, na zahodu dolina Velike Pišnice in na vzhodu dolina Vrata. Gore so zgrajene večinoma iz karbonatnih kamnin, predvsem debelih plasti apnenca, doline pa zapolnjujejo ledeniški in rečni nanosi. V ledeniško močno preoblikovani pokrajini izstopajo prepadne stene, ki se od vršnih grebenov spuščajo v globoke krnice (Mihelič 2003). Za območje sta značilni velika navpična in majhna vodoravna razgibanost površja (Perko 2002).

Območje Mirne (slika 3) obsega hribovit in v manjši meri gričevnat svet spodnjega porečja reke Mirne med naseljem Tržišče in sotočjem s Savo. V tem delu je Mirna usmerjena prečno na slemena ob stiku Boštanjskega in Krškega hribovja. Reka je izdolbla globoko deber, posebej zanimivi so njeni ujeti okljuki. Rečno-denudacijsko površje, ki je zgrajeno večinoma iz lapornih in dolomitnih kamnin, je izredno razčlenjeno, slemena so močno razvejena, pobočja pa nerazgibana in brez grap (Topole 1998). Za območje sta značilni zmerna navpična in zmerna vodoravna razgibanost površja (Perko 2002).

Območje Jeruzalema (slika 4) obsega del Ljutomersko-Ormoških ali Vzhodnih Slovenskih goric. Njihovo ogrodje je lapornato in peščeno sleme med porečjema Ščavnice in Drave. Razvodno sleme poteka od vzhoda proti zahodu, številna stranska slemena pa so usmerjena predvsem proti severu in jugu (Kert 1991). V vododržne in erozijsko slabo odporne kamnine so potoki vrezali številne grape in dolinice, ki so zaradi skromnega strmca pogosto mokrotne. Na strmejših pobočjih se občasno prožijo usadi (Belec 1968). Za območje sta značilni zmerna navpična in velika vodoravna razgibanost površja (Perko 2002).

Slika 1: Lega izbranih območij na zemljevidu Slovenije. ►



Morfološka analiza površja z geografskim informacijskim sistemom

MIHA PAVŠEK

Slika 2: Gorska skupina Škrlatice (2740 m) v vzhodnem delu Julijskih Alp.

MARKO KAPUS

Slika 3: Slikoviti ujeti okljuki Mirne v Krškem hribovju.

MIMI URBANC

Slika 4: Slemena Jeruzalemskih goric pri Vinskem Vrhu.

MARJAN GRBAJS

Slika 5: Kraško površje z udornicami v okolici Škocjana.

Območje Škocjana (slika 5) leži v jugovzhodnem delu Divaškega krasa v širši okolici Škocjanskih jam. Kraška planota je v grobem uravnana, v drobnem pa močno razčlenjena z vrtačami in globokimi udornicami, ki so nastale nad nekdanjim in zdajšnjim podzemnim tokom Reke. S severnih obronkov flišnih Brkinov priteka več potokov: nekateri se površinsko izlivajo v reko, drugi pa ponikajo v zatrepih slepih dolin. Slikovit kanjon in veliko slepo dolino je pred Škocjanskimi jamami izdelala tudi Reka (Mihevc 2001). Za območje sta značilni majhna navpična in zmerna vodoravna razgibanost površja (Perko 2002).

Po izbranih območjih smo izračunali nekaj temeljnih statističnih kazalnikov za višino, naklon in ekspozicijo površja: pogostnostno porazdelitev, aritmetično sredino, standardni odklon, variacijski razmik (razlika med najvišjo in najnižjo vrednostjo) in koeficient variacije (razmerje med standardnim odklonom in aritmetično sredino). Ugotovljeni kazalniki slonijo na 32.436.693 podatkih oziroma celicah za Slovenijo in 86.400 podatkih oziroma celicah za posamezna območja.

3 Temeljne morfometrične lastnosti površja

Temeljne morfometrične lastnosti površja slonijo na geometriji množice ploskev, ki sestavljajo zunanji del zemeljskega površja. V okviru geografskega informacijskega sistema lahko z digitalnim modelom višin ugotavljamo geometrične lastnosti teh ploskev in prostorsko spreminjanje njihovih geometričnih lastnosti, kar je pomembna objektivna kvantitativna metoda pri preučevanju izoblikovanosti površja, še posebej njegovih morfometričnih lastnosti (Perko 2002).

Tri temeljne geometrične lastnosti so: oddaljenost, nagnjenost in ukrivljenost. Ker imajo ploskve dve razsežnosti, prostor, v katerem ležijo, pa tri razsežnosti, lahko za vsako ploskev ugotavljamo dve oddaljenosti, nagnjenosti in ukrivljenosti, in sicer glede na vodoravno in glede na navpično ravnino. To pomeni, da z digitalnim modelom višin lahko za vsako ploskev površja ugotavljamo njeno (Perko 2002):

- oddaljenost glede na vodoravno ravnino,
- oddaljenost glede na navpično ravnino,
- nagnjenost glede na vodoravno ravnino,
- nagnjenost glede na navpično ravnino,
- ukrivljenost glede na vodoravno ravnino in
- ukrivljenost glede na navpično ravnino.

V geografiji najpogosteje uporabljamo:

- oddaljenost površja glede na vodoravno ravnino, to je navpična oddaljenost površja, ki ji v geografiji pravimo višina površja,
- nagnjenost površja glede na vodoravno ravnino, to je navpično nagnjenost površja, ki ji v geografiji pravimo naklon površja, in
- nagnjenost površja glede na navpično ravnino, to je vodoravno nagnjenost površja, ki ji v geografiji pravimo ekspozicija površja.

Za geomorfne, pa tudi druge naravne in družbene procese v pokrajini niso pomembne samo geometrične lastnosti ploskev, ampak tudi geometrične lastnosti sosednjih ploskev oziroma prostorsko spreminjanje geometričnih lastnosti ploskev, na temelju katerega lahko določamo spremenljivost ali variabilnost oziroma razčlenjenost ali razgibanost površja (angleško *surface variability* ali *surface roughness*). V slovenskem jeziku stopnje razgibanosti površja ločimo običajno z besedami ravnina, gričevje, hribovje in gorovje.

Za merjenje variabilnosti uporabljamo absolutne mere variacije, predvsem variacijski razmik, varianco in standardni odklon, ter relativne mere variacije, na primer koeficient variacije.

Razgibanost površja glede na prostorsko spreminjanje navpične in vodoravne oddaljenosti površja, navpične in vodoravne nagnjenosti površja ter navpične in vodoravne ukrivljenosti površja lahko

iz podatkov digitalnega modela višin ugotavljamo s posebnimi koeficienti, ki temeljijo na koeficientu variacije in jih lahko imenujemo navpični in vodoravni koeficienti razgibanosti površja.

Za ugotavljanje razgibanosti površja so najbolj uporabni:

- koeficient višinske razgibanosti površja, ki temelji na prostorskem spreminjanju višine površja,
- koeficient naklonske razgibanosti površja, ki temelji na prostorskem spreminjanju naklona površja, in
- koeficient ekspozicijske razgibanosti površja, ki temelji na prostorskem spreminjanju ekspozicije površja.

Koeficienti navpične in vodoravne razgibanosti površja temeljijo na koeficientu variacije, to je s 100 pomnoženim razmerjem med standardnim odklonom in aritmetično sredino (Blejec 1976; Perko 2001, 23) celice in njenih sosed (običajno 8, 16 ali več). Če kot povprečno vrednost uporabimo povprečje zgolj upoštevanih celic, je to lokalni koeficient, če pa vzamemo povprečje celotnega območja, ki ga preučujemo, na primer Slovenije, pa regionalni koeficient razgibanosti površja (Perko 2007).

Pred računanjem koeficientov naklonske in ekspozicijske razgibanosti površja je treba podatke preurediti tako, da se vrednosti za navpično nagnjenost oziroma naklon površja gibljejo med 0° za najbolj ravne predele in 90° za najbolj strme predele, vrednosti za vodoravno nagnjenost oziroma ekspozicijo površja pa med 0° za najbolj južne lege in 180° za najbolj severne lege (lahko tudi obratno).

Primerjava kazalnikov splošnih lastnosti površja med programi LANDSERF, SAGA in TAS ni pokazala pomembnih razlik niti pri celi Sloveniji niti pri štirih reliefno različnih tipih pokrajine v Sloveniji.

Preglednica 1: Nekateri statistični kazalniki za višino, naklon in ekspozicijo površja po posameznih območjih.

reliefni kazalniki	Slovenija	Škrlatica	Mirna	Jeruzalem	Škocjan
višina					
nižek (m)	0,10	682,50	168,60	204,50	315,40
višek (m)	2851,80	2718,90	589,60	346,20	770,40
povprečje (m)	557,34	1535,87	345,68	257,85	473,63
razmik (m)	2851,70	2036,40	421,00	141,70	455,00
standardni odklon (m)	358,58	436,09	91,07	25,59	69,59
koeficient variacije	64,34	28,39	26,35	9,92	14,69
naklon					
nižek (°)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
višek (°)	82,14	70,67	48,65	32,80	52,82
povprečje (°)	14,14	35,30	17,22	9,56	8,81
razmik (°)	82,14	70,67	48,65	32,80	52,82
standardni odklon (°)	11,35	13,06	8,74	5,25	6,83
koeficient variacije	80,26	37,00	50,75	54,92	77,53
ekspozicija					
nižek (°)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
višek (°)	180,00	180,00	180,00	180,00	180,00
povprečje (°)	84,76	94,09	89,64	83,13	94,05
razmik (°)	180,00	180,00	180,00	180,00	180,00
standardni odklon (°)	53,48	51,95	52,76	46,14	51,49
koeficient variacije	63,10	55,21	58,86	55,50	54,75

4 Posebne morfometrične lastnosti površja

Posebne morfometrične lastnosti površja temeljijo na posebnih razmestitvah višin celic in se kažejo v značilnih oblikah površja. V grobem jih razdelimo na:

- vbočene podolgovate oblike površja, na primer jarek,
- vbočene okroglaste oblike površja, na primer kotanja,
- izbočene podolgovate oblike površja, na primer sleme, in
- izbočene okroglaste oblike površja, na primer vrh, ter
- vmesne oblike površja, ki so v pokrajini najpogostejše.

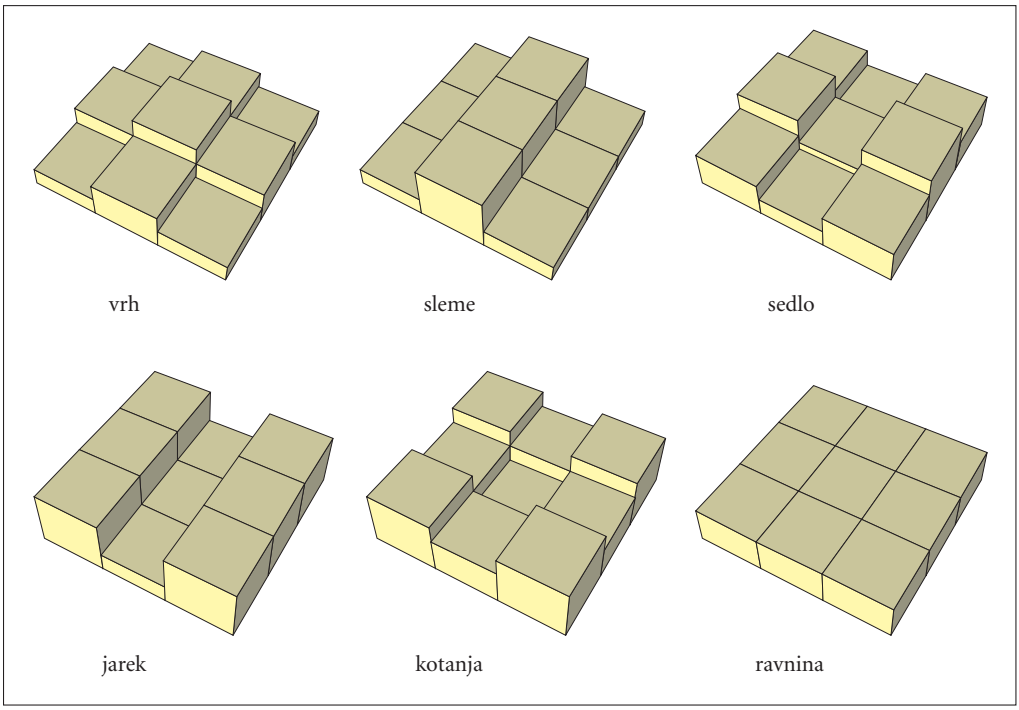
Program LANDSERF loči šest razredov oziroma kategorij vrst morfoloških enot površja. To so:

- kotanja (angleško *pit*),
- jarek (angleško *channel*),
- sedlo (angleško *pass*),
- sleme (angleško *ridge*),
- vrh (angleško *peak*),
- ravnina (angleško *plane*).

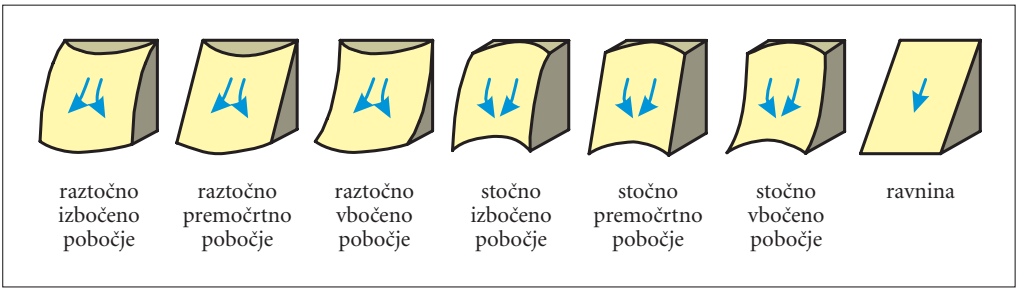
Ob pripravi doktorske naloge ga je razvil Jo Wood z Oddelka za informacijsko znanost Mestne univerze v Londonu (Department of Information Science, City University). Modul *Surface feature classification* je natančneje opisal v svoji doktorski nalogi (Wood 1996). Uporabili smo različico 2.3.

Program SAGA loči osem kategorij vrst morfoloških enot površja. To so:

- vrh (angleško *peak*),
- kotanja (angleško *pit*),
- sedlo (angleško *pass*),



Slika 6: Vrste morfoloških enot površja, ki jih določa program LANDSERF.



Slika 7: Vrste morfoloških enot površja, ki jih določa program TAS.

- izbočeno pobočje (angleško *convex break*),
- vbočeno pobočje (angleško *concave break*),
- sleme (angleško *ridge*),
- jarek (angleško *channel*),
- nedoločeno (angleško *undefined*).

Program SAGA (*system for automated geoscientific analyses*) je razvil Olaf Conrad s sodelavci z Univerze v Goettingenu na temelju predhodnega programa DiGeM. Modul *Surface specific points* temelji na prispevku o določanju značilnih točk površja, ki sta ga objavila Peucker in Douglas leta 1975. Uporabili smo različico 1.2.

Program TAS loči sedem kategorij vrst morfoloških enot površja. To so:

- stočno vbočeno pobočje (angleško *convergent footslope*),
- raztočno vbočeno pobočje (angleško *divergent footslope*),
- stočno izbočeno pobočje (angleško *convergent shoulder*),
- raztočno izbočeno pobočje (angleško *divergent shoulder*),
- stočno premočrtno pobočje (angleško *convergent backslope*),
- raztočno premočrtno pobočje (angleško *divergent backslope*),
- ravnina (angleško *flat*).

Program TAS (*terrain analysis system*) je razvil hidrolog in geomorfolog John Lindsay z Univerze v Manchestru. Modul *Landform classification* temelji na prispevku o določanju oblik površja, ki so ga objavili Pennock, Zebarth in de Jong leta 1987. Uporabili smo različico 2.09.

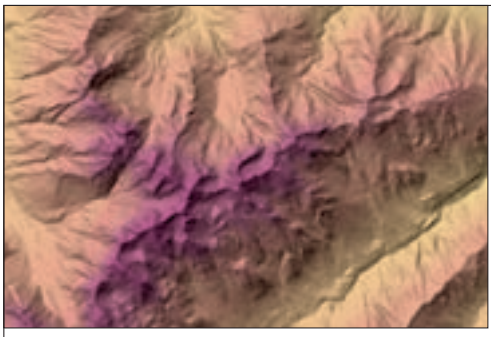
5 Primerjava

Med programih LANDSERF, SAGA in TAS pri določanju temeljnih morfoloških lastnosti in oblik površja ni pomembnih razlik, pri določanju posebnih morfoloških lastnosti in oblik površja pa so razlike razmeroma velike. Primerjavo med posameznimi programi otežujejo neenake kategorije oblik oziroma vrst morfoloških enot površja.

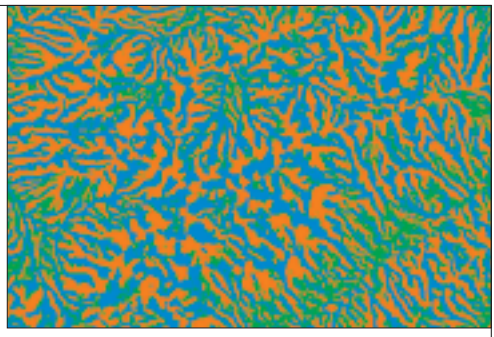
Pri programih LANDSERF in SAGA so kategorije precej podobne, le da kategoriji jarek pri programu LANDSERF ustrezata kategorija jarek in kategorija vbočeno pobočje pri programu SAGA, kategoriji sleme pa kategorija sleme in kategorija izbočeno pobočje.

Pri programih LANDSERF in TAS se kategorije bolj razlikujejo: kategoriji jarek pri programu LANDSERF ustrezajo kategorija stočno izbočeno pobočje, kategorija stočno premočrtno pobočje in kategorija stočno vbočeno pobočje pri programu TAS, kategoriji sleme pa kategorija raztočno izbočeno pobočje, kategorija raztočno premočrtno pobočje in kategorija raztočno vbočeno pobočje.

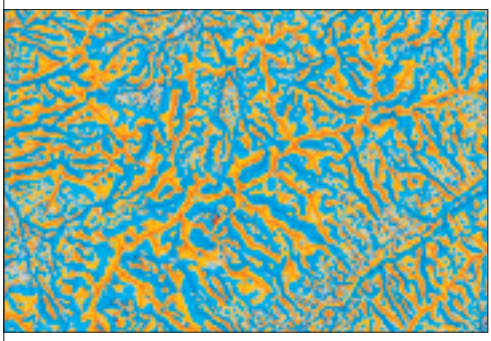
Pri programih SAGA in TAS se kategorije prav tako precej razlikujejo: kategoriji jarek in kategoriji vbočeno pobočje pri programu SAGA ustrezajo kategorija stočno vbočeno pobočje, kategorija stočno



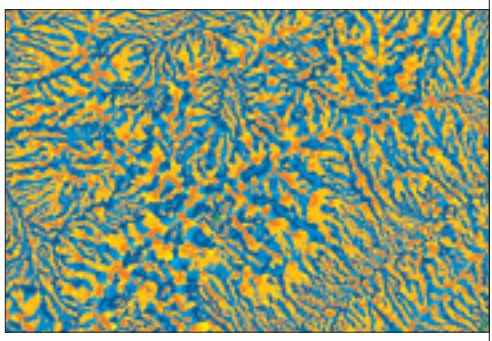
RELIEF



LANDSERF



SAGA



TAS

Legenda LANDSERF

- vrh
- sleme
- sedlo
- jarek
- kotanja
- ravnina

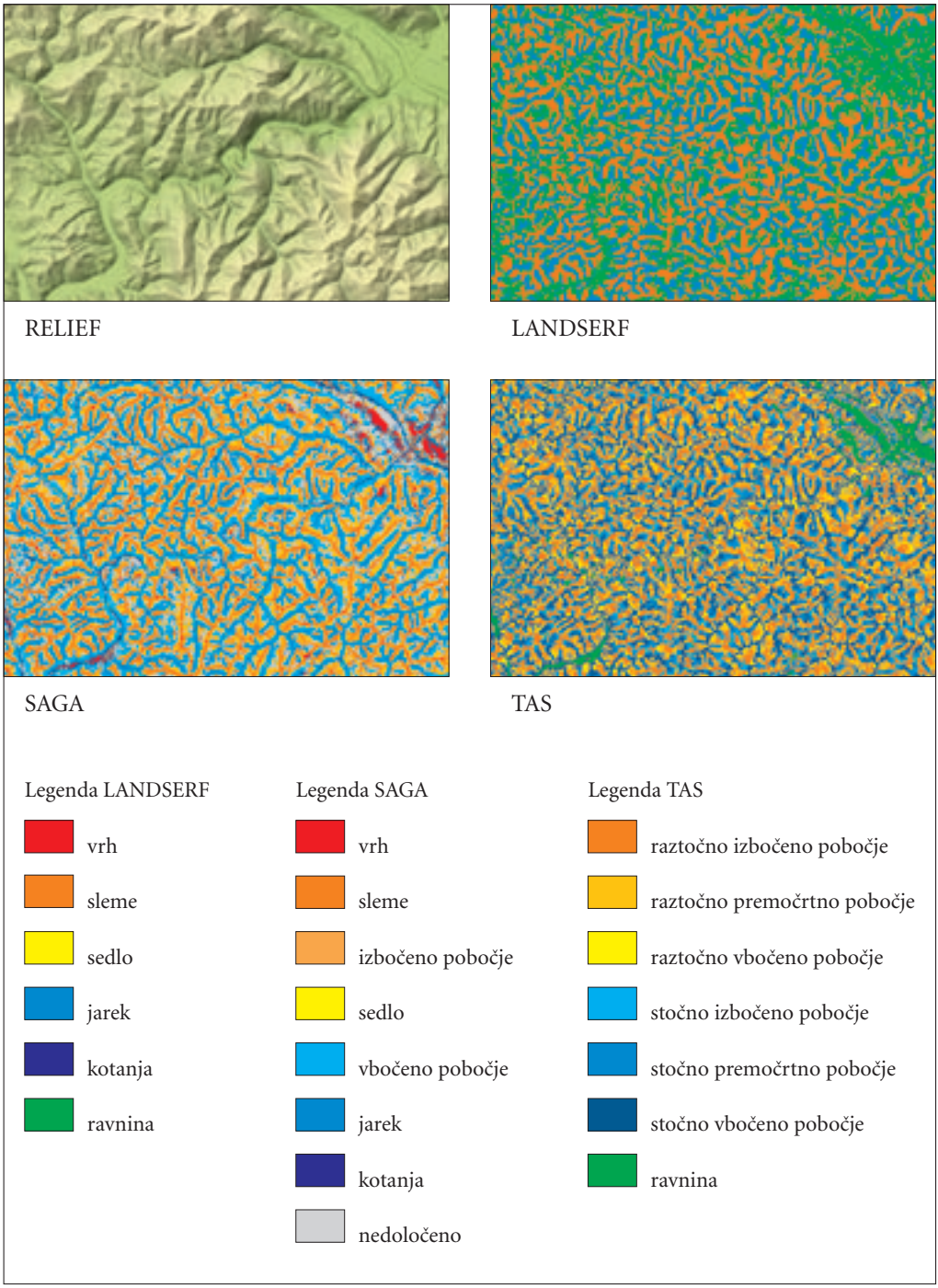
Legenda SAGA

- vrh
- sleme
- izbočeno pobočje
- sedlo
- vbočeno pobočje
- jarek
- kotanja
- nedoločeno

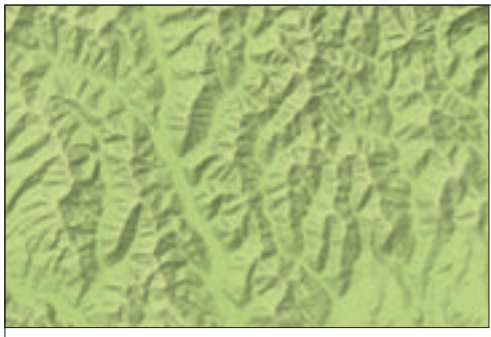
Legenda TAS

- raztočno izbočeno pobočje
- raztočno premočrtno pobočje
- raztočno vbočeno pobočje
- stočno izbočeno pobočje
- stočno premočrtno pobočje
- stočno vbočeno pobočje
- ravnina

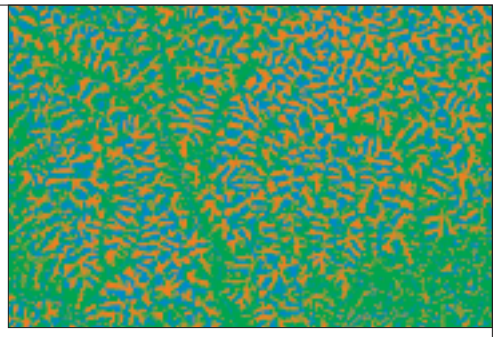
Slika 8: Primerjava vrst morfoloških enot površja za območje Škrlatice.



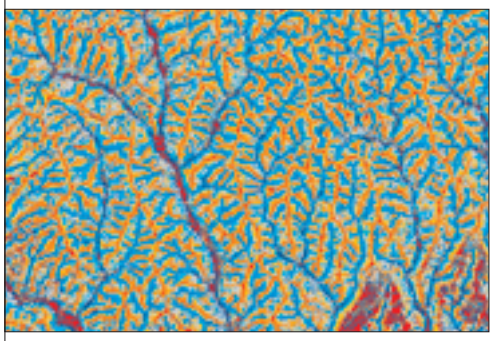
Slika 9: Primerjava vrst morfoloških enot površja za območje Mirne.



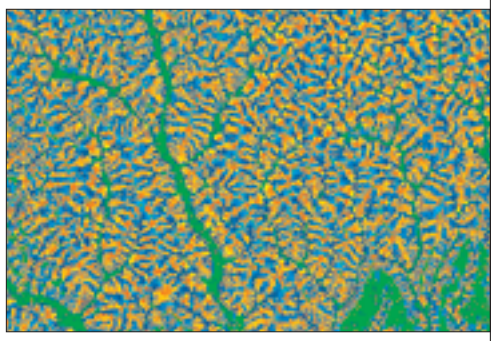
RELIEF



LANDSERF



SAGA



TAS

Legenda LANDSERF

- vrh
- sleme
- sedlo
- jarek
- kotanja
- ravnina

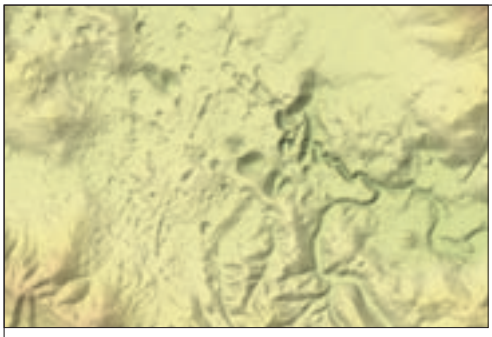
Legenda SAGA

- vrh
- sleme
- izbočeno pobočje
- sedlo
- vbočeno pobočje
- jarek
- kotanja
- nedoločeno

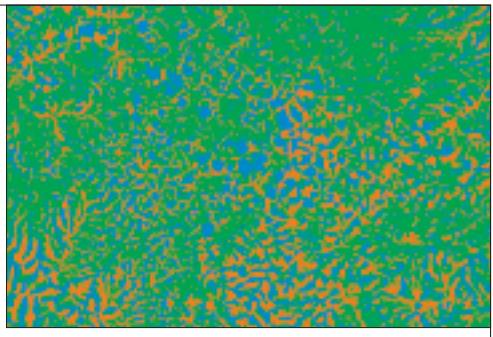
Legenda TAS

- raztočno izbočeno pobočje
- raztočno premočrtno pobočje
- raztočno vbočeno pobočje
- stočno izbočeno pobočje
- stočno premočrtno pobočje
- stočno vbočeno pobočje
- ravnina

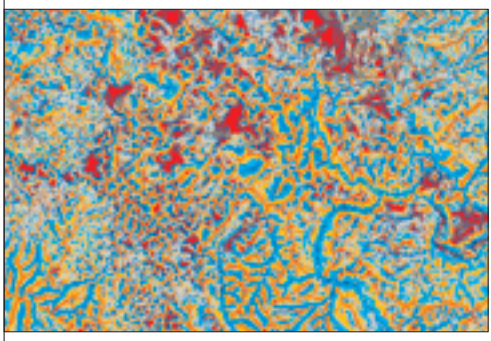
Slika 10: Primerjava vrst morfoloških enot površja za območje Jeruzalema.



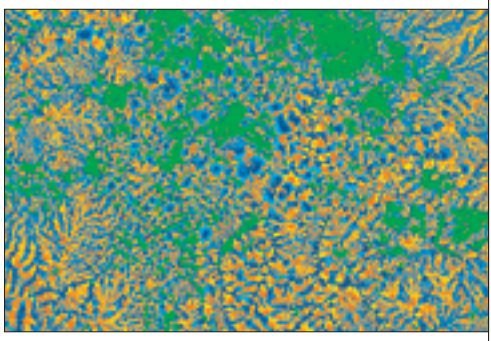
RELIEF



LANDSERF



SAGA



TAS

Legenda LANDSERF

- vrh
- sleme
- sedlo
- jarek
- kotanja
- ravnina

Legenda SAGA

- vrh
- sleme
- izbočeno pobočje
- sedlo
- vbočeno pobočje
- jarek
- kotanja
- nedoločeno

Legenda TAS

- raztočno izbočeno pobočje
- raztočno premočrtno pobočje
- raztočno vbočeno pobočje
- stočno izbočeno pobočje
- stočno premočrtno pobočje
- stočno vbočeno pobočje
- ravnina

Slika 11: Primerjava vrst morfoloških enot površja za območje Škocjana.

premočrtno pobočje in kategorija stočno izbočeno pobočje pri programu TAS, kategoriji sleme in kategoriji izbočeno pobočje pa kategorija raztočno izbočeno pobočje, kategorija raztočno premočrtno pobočje in kategorija raztočno vbočeno pobočje.

Čeprav so termini za posamezne kategorije pri različnih programih enaki oziroma podobni, so algoritmi določanja vrst morofloških enot tako različni, da se površine posameznih morfoloških enot lahko bistveno razlikujejo. Kategorija ravnina, ki je teoretično najpreprostejša in najlažje določljiva vrsta morfološke enote površja se na primer pojavlja pri programih LANDSERF in TAS. Program LANDSERF obravnava ravnino v matematičnem smislu, zato vključuje ta kategorija vse točke oziroma celice, ki niso del ukrivljenega površja (ne glede na naklon), v programu TAS pa je ravnina opredeljena v geomorfnem smislu kot površina z naklonom, ki ne presega 3°. Razlike so zato ogromne. Program LANDSERF je določil ravnino na 19.329 celicah (22,7 %) območja Škrlatice, 31.181 celicah (36,6 %) območja Mirne, 42.554 celicah (49,9 %) območja Jeruzalema in 50.325 celicah (59,1 %) območja Škocjana. Mnogo bolj skromen je bil program TAS, ki je določil ravnino na 87 celicah (0,1 %) območja Škrlatice, 2666 celicah (3,1 %) območja Mirne, 7846 celicah (9,2 %) območja Jeruzalema in 14.579 celicah (17,1 %) območja Škocjana.

Večja je usklajenost med programi pri določanju jarkov in slemen. Program LANDSERF je določil jarek na 32.573 celicah (38,2 %) območja Škrlatice, 23.229 celicah (27,3 %) območja Mirne, 19.329 celicah (22,7 %) območja Jeruzalema in 16.908 celicah (19,8 %) območja Škocjana.

Program SAGA je določil približni ekvivalent kategorije jarek (vključeni sta kategorija jarek in kategorija vbočeno pobočje) na 39.621 celicah (46,5 %) območja Škrlatice, 31.827 celicah (37,4 %) območja Mirne, 30.657 celicah (36,0 %) območja Jeruzalema in 26.486 celicah (31,1 %) območja Škocjana.

Program TAS je določil približni ekvivalent kategorije jarek (vključene so kategorija stočno izbočeno pobočje, kategorija stočno premočrtno pobočje in kategorija stočno vbočeno pobočje) na 42.726 celicah (50,1 %) območja Škrlatice, 38.640 celicah (45,3 %) območja Mirne, 39.149 celicah (45,9 %) območja Jeruzalema in 37.907 celicah (44,5 %) območja Škocjana.

Program LANDSERF je določil sleme na 33.296 celicah (39,1 %) območja Škrlatice, 30.596 celicah (35,9 %) območja Mirne, 23.031 celicah (27,0 %) območja Jeruzalema in 17.548 celicah (20,6 %) območja Škocjana.

Program SAGA je določil približni ekvivalent kategorije sleme (vključeni sta kategorija sleme in kategorija izbočeno pobočje) na 34.671 celicah (40,7 %) območja Škrlatice, 37.079 celicah (43,5 %) območja Mirne, 31.283 celicah (36,7 %) območja Jeruzalema in 28.787 celicah (33,8 %) območja Škocjana.

Program TAS je določil približni ekvivalent kategorije sleme (vključene so kategorija raztočno izbočeno pobočje, kategorija raztočno premočrtno pobočje in kategorija raztočno vbočeno pobočje) na 42.391 celicah (49,8 %) območja Škrlatice, 43.898 celicah (51,5 %) območja Mirne, 38.209 celicah (44,8 %) območja Jeruzalema in 32.718 celicah (38,4 %) območja Škocjana.

6 Sklep

Ugotavljanje raznovrstnih morfoloških enot površja z digitalnim modelom višin v okviru geografskih informacijskih sistemov je pomembna objektivna kvantitativna metoda, ki je koristna predvsem pri geomorfološkem preučevanju pobočij, saj je uporabna za razumevanje razporeditve in intenzivnosti denudacijskih, erozijskih in akumulacijskih procesov.

Glede na navpično ukrivljenost je pomembno ločevanje med izbočenim (konveksnim), premočrtnim in vbočenim (konkavnim) površjem. Izbočenost je običajno značilna za vršne dele pobočij in najpogosteje nastaja zaradi preperinskega polzenja, dežne erozije in površinskega spiranja. Premočrtni odseki so najpogostejši v srednjih delih pobočij in jih oblikujejo raznovrstni procesi denudacije in polzenja. Vbočeno je običajno vznožje pobočij, najpomembnejši geomorfni proces pa je na tem odseku akumulacija gradiva (Selby 1985).

Z vidika vodoravne ukrivljenosti je ločevanje med premočrtnim, konveksnim in konkavnim površjem pomembno zaradi različnega poteka tokovnic. Na stočnih (konkavnih) odsekih se tokovnice stekajo, zato ta območja oblikuje pretežno vodna erozija. Na premočrtnih odsekih so tokovnice vzporedne, kar običajno pomeni močno denudacijo, na raztočnih (konveksnih) odsekih pa se tokovnice raztekajo, zato se na teh območjih običajno izmenjujeta šibka denudacija in akumulacija (Parsons 1988).

Kljub nekaterim pomanjkljivostim morfološke analize površja z geografskim informacijskim sistemom in digitalnim modelom višin pa številne metode in kazalniki za določanje in razvrščanje morfoloških enot površja na različnih velikostnih ravneh pomagajo pri geomorfološkem kartiranju ali drugih geomorfoloških analizah. Ker pa relief vpliva tudi na ostale naravne in družbene sestavine pokrajine, je morfološka analiza digitalnega modela višin kot modela površja pomembna tudi za druge geografske in sorodne raziskave ter je smiselno dopolnilo sicer zamudnemu terenskemu delu. V vseh primerih pa je pri interpretaciji rezultatov treba poznati vsaj bistvo algoritmov določanja značilnosti in oblik površja pri posameznih programih.

7 Viri in literatura

Belec, B. 1968: Ljutomersko-ormoške gorice. Maribor.

Blejec, M. 1976: Statistične metode za ekonomiste. Ljubljana.

Geodetska uprava Republike Slovenije 2005: 25-metrski digitalni modeli višin (DMV-25).

Gabrovec, M., Hrvatin, M. 1998: Površje. Geografski atlas Slovenije. Ljubljana.

Hrvatin, M., Perko, D. 2002: Ugotavljanje ukrivljenosti površja z digitalnim modelom višin in njena uporabnost v geomorfologiji. Geografski informacijski sistemi 2001–2002. Ljubljana.

Hrvatin, M., Perko, D. 2003: Gozdno rastje in morfometrične značilnosti površja v Sloveniji. Geografski vestnik 75-2. Ljubljana.

Kert, B. 1991: Regionalizacija Subpanonske Severovzhodne Slovenije. Dela 8. Ljubljana.

Mihelič, T. 2003: Julijske Alpe: planinski vodnik. Ljubljana.

Mihevc, A. 2001: Speleogeneza Divaškega krasa. Ljubljana.

Pennock, D. J., Zebarth, B. J., de Jong, E. 1987: Landform classification and soil distribution in hummocky terrain, Saskatchewan, Canada. Geoderma 40. New York.

Perko, D. 1998: The regionalization of Slovenia. Geografski zbornik 38. Ljubljana.

Perko, D. 2001: Analiza površja Slovenije s stometrskim digitalnim modelom reliefa. Geografija Slovenije 3. Ljubljana.

Perko, D. 2002: Določanje vodoravne in navpične razgibanosti površja z digitalnim modelom višin. Geografski vestnik 74-2. Ljubljana.

Perko, D. 2007: Morfometrija površja Slovenije. Georitem 3. Ljubljana.

Parsons, A. J. 1988: Hillslope form. London.

Peucker, T. K., Douglas, D. H. 1975: Detection of surface-specific points by local parallel processing of discrete terrain elevation data. Computer graphics and image processing, 4-2. New York.

Selby, M. J. 1985: Earth's changing surface. Oxford.

Topole, M. 1998: Mirnska dolina. Ljubljana.

Wood, J. D. 1996: The geomorphological characterisation of digital elevation models. Doktorska disertacija, University of Leicester. Leicester.

ANALIZA OBLIK POVRŠJA Z UPORABO LOKALNEGA OKNA

dr. Tomaž Podobnikar
Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU
Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, Vienna University of Technology, Dunaj, Avstrija
tp@zrc-sazu.si

Peter Možina
peter.mozina@gmail.com

UDK: 528.94:659.2:004
COBISS: 1.16

IZVLEČEK

Analiza oblik površja z uporabo lokalnega okna

Namen študije je analiza oblik površja, kot so grebeni, doline, vrhovi, vrtače, z metodo lokalnega okna velikosti 3 krat 3 in več celic na podlagi DMV-ja, zapisanega v rastrski oziroma matrični obliki. Postopek poteka tako, da lokalno okno sistematično premikamo po celotnem območju DMV-ja ter pri tem izvajamo določeno operacijo, kot je na primer iskanje robov s Sobelovim filtrom. Izvajali smo tehnike kartiranja oblik površja, ki temeljijo na uporabi visokoprepustnih filtrov in lokalnem določanju ekstremnih vrednosti. Naslednja možnost je izračun histogramov višin z določenim številom razredov glede na trenutno lokalno okno. Iskane oblike površja ugotavljamo z izločanjem vnaprej določenih kategorij histogramov ali z analizo oblik histogramov, ki jih aproksimiramo z različnimi matematičnimi krivuljami. Analiza tako imenovanih lokalnih histogramov omogoča naprednejše iskanje oblik površja. Uporabili smo DMV-je Slovenije različnih ločljivosti na testnem območju Kamniško-Savinjskih Alp.

KLJUČNE BESEDE
digitalni model višin, oblika površja, prostorske analize, digitalna obdelava posnetkov, analiza lokalnih oken

ABSTRACT

Analysis of the landforms using local window

The aim of this study is to analyse landforms, e. g. ridges, valleys, peaks, and sinkholes by using a local (moving) window with dimension of 3 by 3 or more cells. The applied algorithms are sending the local window systematically over the whole area of DEM formatted in the raster or matrix form. An example of such algorithm is a Sobel filter. The Mapping techniques of landforms have been investigated. They use high pass filters and locally determinate extreme values. Another applied method is calculating histograms of the terrain heights within the all positions of the local window and classifying their values with a certain number of classes. The landforms are calculated with elimination of the particular categories of the histograms that are approximated with different mathematical curves. Analysis of the so called local histograms enable advanced determination of the landform shapes. The DEMs of Slovenia with different resolution in a study area of the Kamnik-Savinja Alps have been tested.

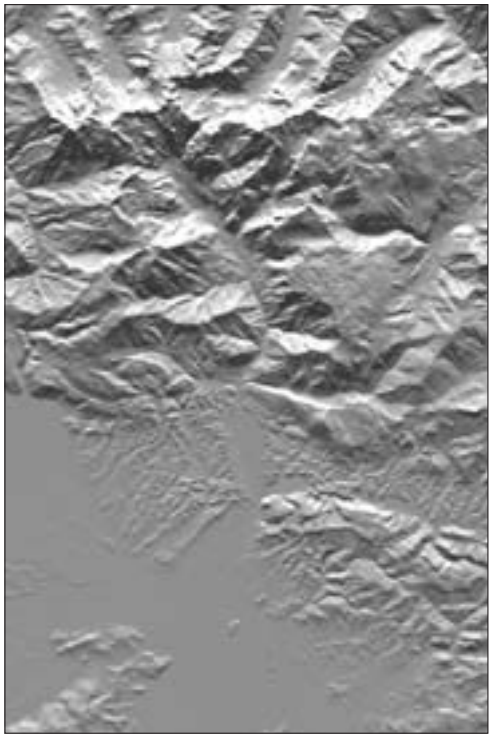
KEY WORDS
digital elevation model, landform, spatial analysis, digital image processing, local window analysis

1 Uvod

S preučevanjem razgibanosti površja se ukvarjajo geografi (Perko 2007), merijo jo geodeti. Razvoj geografskih informacijskih sistemov (GIS) in digitalnih modelov višin (DMV) je prinesel nove možnosti analiz. Numerične analize in vizualne analize vizualizacij DMV-jev lahko pomagajo pri razpoznavanju in odkrivanju oblik površja, kot so grebeni, vrhovi, doline, vrtače. Različni postopki (algoritmi) omogočajo razpoznavanje in določitev podrobnosti zemeljskega površja, kar omogoča boljše poznavanje določenih lastnosti naravnih značilnosti in pojavov.

V začetku devetdesetih let prejšnjega stoletja je računalniška tehnologija (predvsem strojna oprema) napredovala do te mere, da je DMV postal uporaben tudi pri geomorfoloških analizah. V povezavi z geomorfološkimi analizami našega dela velja omeniti uporabo DMV-ja pri testiranju različnih algoritmov za iskanje lokalnih ekstremov (Krevs 1992). Analiza izbranega odstotka vrednosti iz lokalnega okna omogoča določanje nekaterih oblik površja, kot so vrhovi in grebeni (Székely 2001). Določitev in analiza oblik površja je bila pomembna pri analizi kakovosti virov in pri sami izdelavi DMV-ja Slovenije (Podobnikar 2001), določitev zapletenejših oblik, kot so potencialno nevarni vršaji, ki nastajajo iz materiala z višjih leg, pa je pomembna pri določanju ogroženosti zgradb, ki so postavljene na njih (Podobnikar in Székely 2008).

Poglavitni cilj našega prispevka je predstaviti različne algoritme, ki temeljijo na uporabi lokalnega okna in omogočajo prepoznavanje določenih oblik površja (grebeni, doline, vrhovi in vrtače). V članku želimo predstaviti predvsem vizualno analizo delovanja različnih algoritmov na lokalnih oknih različnih dimenzij. Uporabljeni so bili DMV 100, DMV 25 in DMV 12,5 (Geodetska uprava Republike Slovenije), ki zajema pravokotno območje velikosti 20 krat 30 km z delom Kamniško-Savinjskiih Alp, od Domžal na jugu do Logarske doline in Jezerskega na severu (slika 1). Večino prikazov v prispevku prikazujemo na manjšem delu študijskega območja z velikostjo 5200 krat 7800 m.



Slika 1: Prikaz celotnega študijskega območja z analitičnim senčenjem (DMV 25).

2 Metodologija

Poleg metod, ki se uporabljajo samo za analize DMV-ja (izračun naklona, ekspozicije, analitičnega senčenja ipd.), lahko DMV razumemo kot digitalni sloj v rastrski obliki in pri tem za analizo uporabimo metode, ki se sicer uporabljajo za obdelavo digitalnih posnetkov. Rastrske podatke lahko zelo enostavno in učinkovito obdelujemo, saj jih enostavno prevedemo v matematično obvladljiv matrični zapis. Vrednosti v rastrskem zapisu predstavljajo nadmorske višine (namesto določenih značilnosti, ki se zapišejo v posnetek). Z umestitvijo DMV-ja v določen koordinatni sistem sta definirana lega študijskega območja in ločljivost rastrske celice.

Geomorfološke značilnosti DMV-ja lahko obravnavamo hkrati za celotno območje (na primer iskanje najvišjega vrha obravnavanega območja), ali pa območje raziskave skrčimo na določene regije, na primer tako, da celotno območje teseliramo na kvadratasta območja, preučujemo določeno porečje, ali pa se lotimo problema lokalno (z uporabo lokalnih oken) kot v našem primeru. To storimo tako, da po celotnem DMV-ju premikamo lokalno okno, ki je v našem primeru kvadratna matrika razsežnosti 3 krat 3, 5 krat 5, 7 krat 7 ali več. Struktura lokalnega okna vsebuje središčno celico (pri posnetkih gre za piksel) in okolico, kar omogoča njegovo primerjavo z okoliškimi celicami. Vrednosti v lokalnem oknu obdelamo z ustreznim algoritmom (na primer z iskanjem robov s Sobelovim filtrom), rezultat obdelave pa se zapiše v drugo, končno matriko. Po izvedbi operacije se lokalno okno premakne na naslednjo celico DMV-ja.

V prispevku so opisane tri skupine tehnik obdelave DMV-ja z lokalnim oknom, ki jih analiziramo, in sicer:

- visokoprepustni filtri,
- algoritmi za kartiranje ekstremnih vrednosti in
- algoritmi analize lokalnih histogramov.

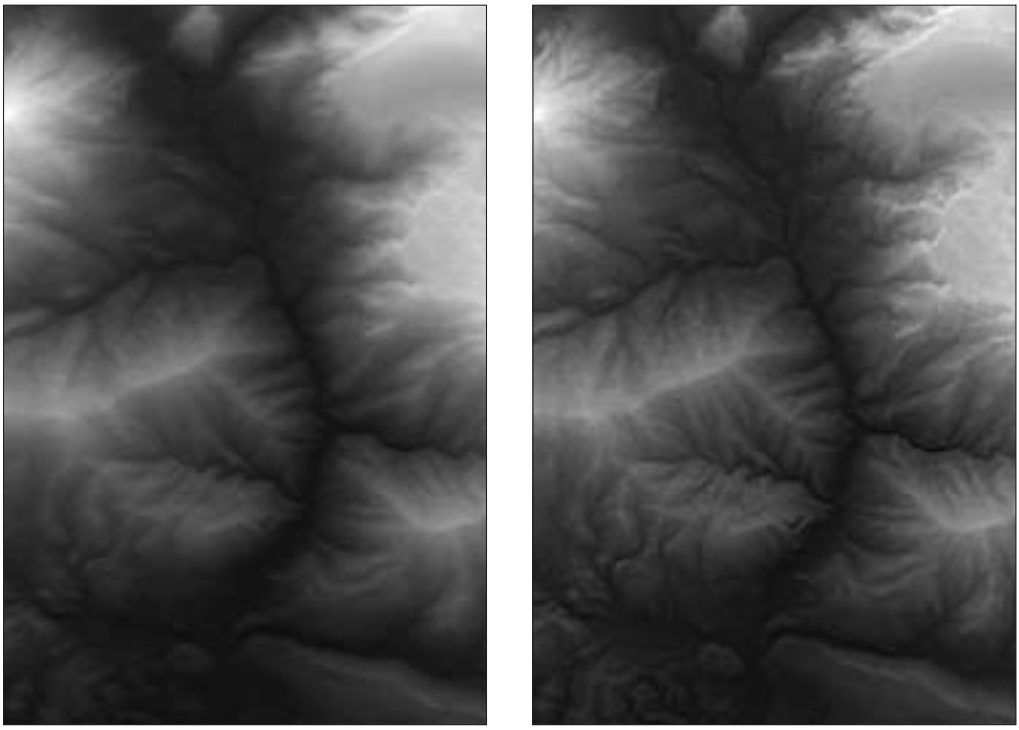
3 Visokoprepustni filtri

Filtriranje je eno najuporabnejših orodij na področju obdelave digitalnih posnetkov (angleško *image processing*), saj omogoča izločanje pomembnih informacij iz posnetkov, izboljšanje njihove kakovosti, iskanje objektov in drugo. Filtriranje deluje tako, da matriko filtra preslikamo na trenutno lokalno okno, znotraj katerega izračunamo vsoto produkta istoležnih elementov matrik in rezultate zapišemo v končno matriko. Nekateri postopki filtriranja močno spremenijo izvirni posnetek. V splošnem glede na učinek ločimo tri vrste filtrov: nizkoprepustne filtre (povzročajo glajenje), visokoprepustne filtre (povzročajo ostrenje) in filtri za odkrivanje robov (Kvamme et al. 1997). Visokoprepustni (angleško *high pass*) filtri prepuščajo in poudarijo podrobnosti na posnetku, povečujejo kontrast in so podobni matematični operaciji odvajanja. Do izraza pridejo visokofrekvenčne komponente posnetka, kar pomeni izostritev robov ter drugih podrobnosti na posnetku. To omogoča njihovo enostavnejše prepoznavanje in interpretacijo. V skupino visokoprepustnih filtrov spadajo tudi filtri odkrivanja robov (Csetverikov 2007). Iskanje robov pomeni iskanje nezveznosti na posnetku, to je predvsem iskanje večjih razlik med vrednostmi bližnjih pikslov.

Delovanje visokoprepustnih filtrov smo opisali za posnetke. Če jih pošljemo prek DMV-ja, potem lahko pomeni odkrivanje robov in drugih oblik površja: grebene, dolinske črte, vrhove, vrtače in še kaj. Visokoprepustni filtri, ki smo jih uporabili za obdelavo DMV-ja so: Robertsov filter, Sobelov filter, Prewittov filter, Laplaceov filter, filter unsharp, filter sharpen.

3.1 Filter sharpen

Filter sharpen je preprost visokoprepustni filter razsežnosti 3 krat 3, katerega učinek je poudarjanje robov. Po obdelavi s tem filtrom so značilnosti DMV-ja znatno bolj poudarjene in delujejo ostrejše (medmrežje 1). Bolje lahko razpoznamo razgibanost površja in izločimo razne oblike, s čimer se nismo



Slika 2: Prikaz DMV-ja 25 s hipsometrično lestvico in senčenjem na levi ter rezultat obdelave s filtrom sharpen in senčenjem na desni strani.

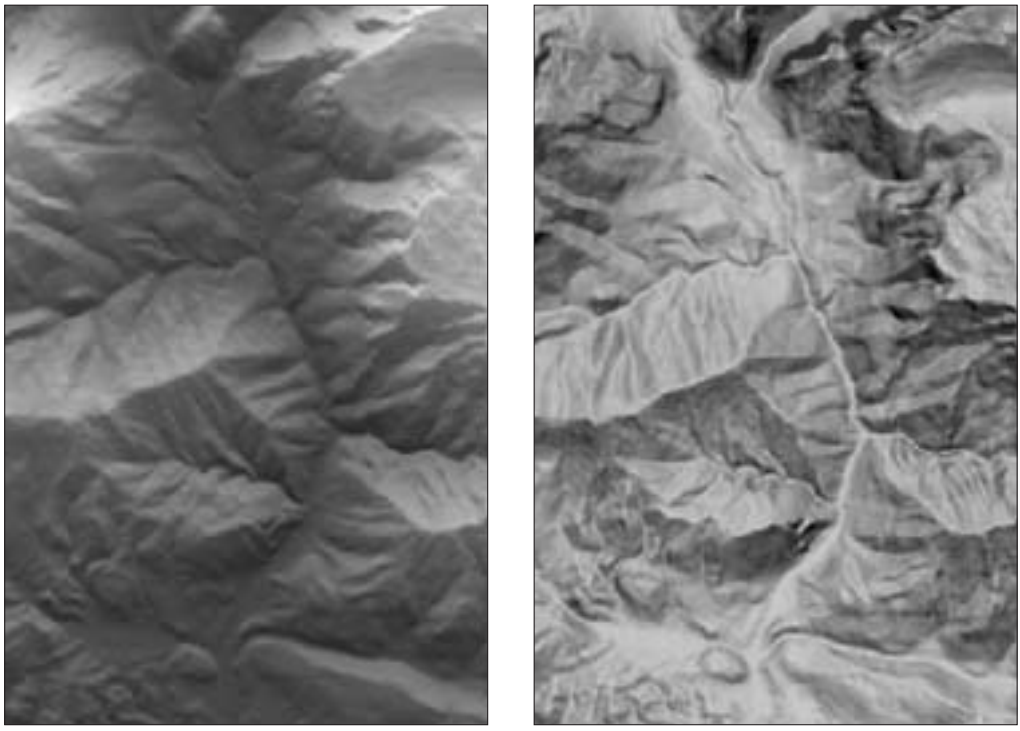
ukvarjali. Filter sharpen se od Laplaceovega filtra razlikuje v tem, da ima drugačen koeficient v središčni celici (–9 namesto –4). S tem ima središčna celica veliko večji vpliv na rezultat obdelave kot pri Laplaceovemu filtru, kar pomeni ohranjanje podobnosti z izvirnim DMV-jem, hkrati pa se poudarijo tudi podrobnosti na DMV-ju (medmrežje 2). Filter sharpen izvirni posnetek (v našem primeru DMV) le izostri in ga ne spremeni bistveno.

Oblika filtra: $\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -9 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$

Na sliki 2 je prikazana primerjava med prikazom DMV-ja 25 in obdelave s filtrom sharpen. Pri obeh slojih je kot podlaga dodan sloj senčenja. Filter sharpen poudari razgibanost zemeljskega površja, saj na desnem posnetku lahko na primer veliko bolje prepoznamo manjše doline (v temnejših odtenkih), ki na levem posnetku sploh niso prepoznavne. Podobno so tudi grebeni prikazani bolj ostro (v svetlejših odtenkih), pri pobočjih pa se dobro vidi njihovo oblikovitost.

3.2 Sobelov filter

Glede na rezultate delovanja ločimo dve vrsti filtrov (ali operatorjev) za iskanje robov: gradientni operatorji, ki predstavljajo prve odvode, in Laplaceovi operatorji, ki predstavljajo druge odvode (Kvamme et al. 1997). Gradientni operatorji, kamor spada tudi Sobelov filter, so sestavljeni iz dveh matrik, ki delujeta med seboj pravokotno (Csetverikov 2007) oziroma dveh enakih matrik, pri čemer je ena



Slika 3: Prikaz DMV-ja 25 s hipsometrično lestvico in senčenjem na levi ter rezultat obdelave s Sobelovim filtrom in senčenjem na desni strani.

izmed njih zavrtena za 90° glede na drugo. Zato se izvorni DMV obdela dvakrat, torej z obema matrikama filtra. Rezultat obdelave sta dva sloja, ki predstavljata parcialni odvod posnetka v smeri x in y. Oba posnetka združimo tako, da seštejemo absolutne vrednosti celic z obeh posnetkov. Tako dobimo končni posnetek, ki vsebuje robove v vseh smereh. Zelo podobna Sobelovemu filtru za iskanje robov sta še Prewittov in Robertsov filter.

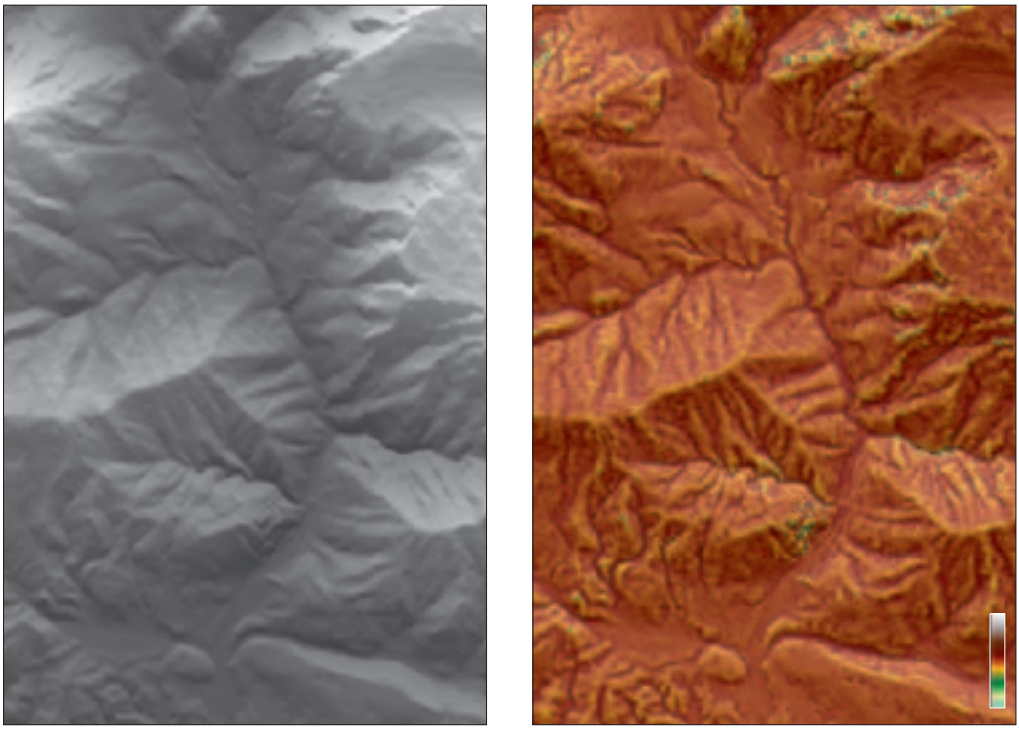
Oblika filtra: $\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

Sobelov filter zazna spreminjanje oblike zemeljskega površja in povzroči izostritev robov ter nekaterih drugih detajlov na DMV-ju. Na sliki 3 je prikazan DMV, obdelan s Sobelovim filtrom, ki dobro poudarja geomorfološke značilnosti zemeljskega površja. Tako se na filtriranem posnetku z dodanim senčenjem jasno odražajo ravnine, dna dolin in grebeni v svetlejših odtenkih ter zelo razgibana območja v temnejših odtenkih.

3.3 Laplaceov filter

Laplaceov filter je pogosto uporabljan visokoprepustni filter, ki služi odkrivanju robov in je podoben matematični operaciji drugega odvoda. Filter poudarja robove v vseh smereh, torej prehaja lokalno okno DMV-ja le enkrat, v nasprotju s Sobelovim filtrom, kjer se to zgodi dvakrat (Vičič 2007).

Laplaceov filter zelo dobro izpostavlja robove in s tem razgibanost zemeljskega površja. Značilnosti zemeljskega površja postanejo še bolj prepoznavne in pripravnejše za vizualno analizo, ko dodamo



Slika 4: Prikaz DMV-ja 25 s hipsometrično lestvico in senčenjem na levi in rezultat obdelave s filtrom Laplace in senčenjem na desni strani.

sloj analitičnega senčenja DMV-ja. Na sliki 3 je mogoče dobro videti dna dolin (temnejši odtenki), razgibanost pobočij, potek grebenov (svetlejši odtenki).

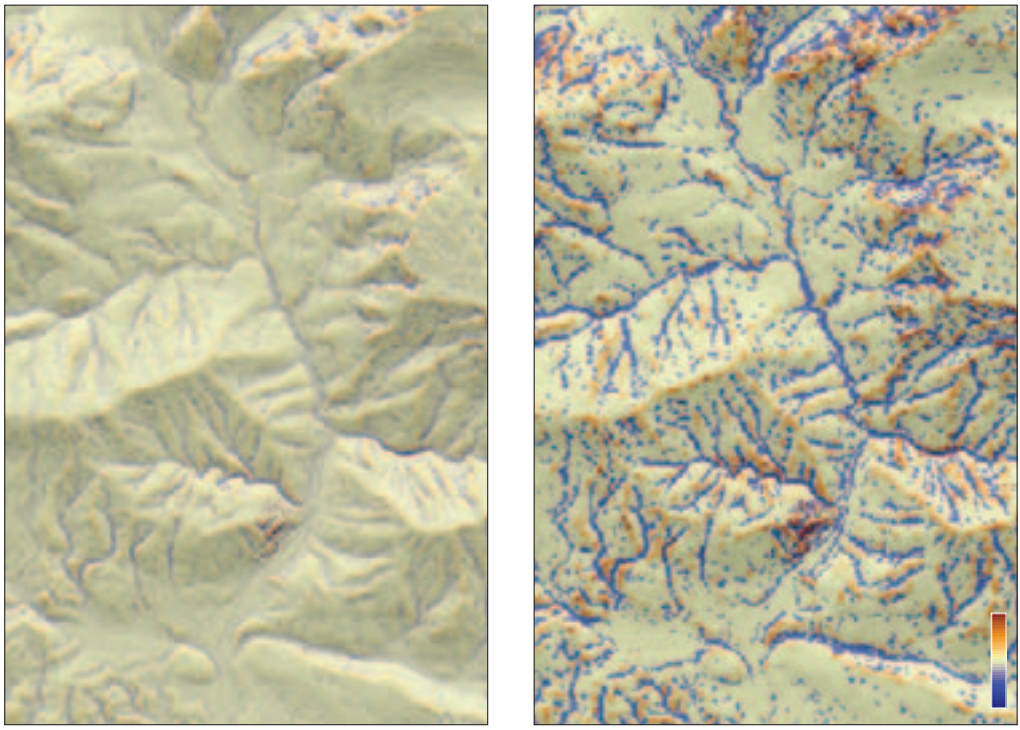
Oblika filtra: $\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$

DMV, obdelan z Laplaceovim filtrom, smo klasificirali na različne načine, s čimer smo pridobili osnovne značilnosti oblikovanosti zemeljskega površja, kot so dna dolin in grebeni. Kot najbolj uporabna metoda za klasifikacijo se je v tem primeru izkazala metoda kvantilov (slika 4).

Na sliki 5 lahko vidimo dva prikaza filtriranega DMV 25 z Laplaceovim filtrom. Oba posnetka uporabljata isto barvno lestvico, razlika pa je v tem, da je levi posnetek prikazan s zvezno barvno lestvico, desni posnetek pa je klasificiran v pet razredov po metodi kvantilov. Če primerjamo posnetka, desni posnetek bolj izrazito predstavi določene značilnosti površja: z oranžno barvo so prikazani grebeni in izbočeni (konveksni) deli površja, z modro barvo so prikazane doline in vbočeni (konkavni) deli površja, rumene barve pa so vmesni deli površja.

4 Algoritmi za kartiranje ekstremnih vrednosti

Algoritmi za kartiranje ekstremnih vrednosti delujejo tako, da se lokalno okno premika po vsem DMV-ju in vsakokrat poišče v oknu celico z najmanjšo ali največjo vrednostjo, ki se jo kartira v izhod-



Slika 5: Prikaz filtriranega DMV-ja 25 z zvezno barvno lestvico in s klasifikacijo v razrede po metodi kvantilov.

no matriko. Kartiranje v izhodno matriko se izvede tako, da se vrednost celice, ki ima na primer največjo vrednost v lokalnem oknu, prepiše na isto mesto, kot je v izvirni matriki, druge celice pa ostanejo v izhodni matriki prazne.

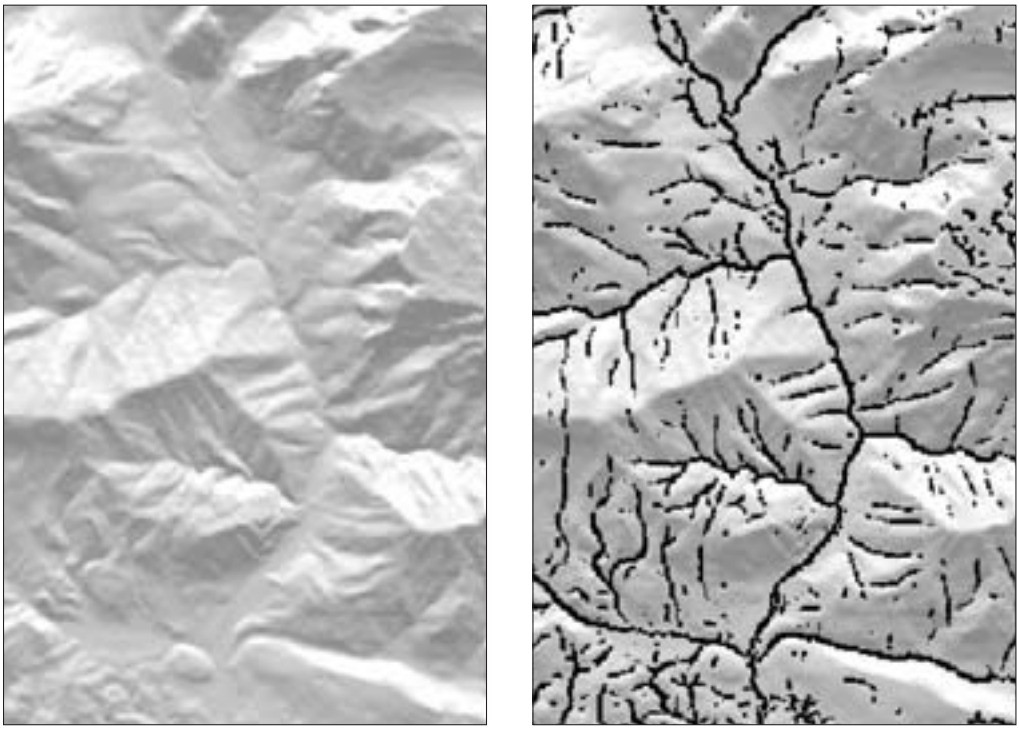
Poleg kartiranja ekstremnih vrednosti predlagamo tudi postopka za kartiranje nizkih in visokih vrednosti, ki omogočata odkrivanje lokalno nižjih oziroma višjih območij na DMV-ju. Pri kartiranju nizkih in visokih vrednosti se vrednosti iz lokalnega okna razvrsti v izbrano število razredov (v našem primeru 10) po metodi enakih intervalov. Nato se v izhodno datoteko kartira celice, katerih vrednosti so bodisi v prvem razredu za nizke vrednosti bodisi v zadnjem razredu za visoke vrednosti.

Slika 6 prikazuje matriko kartiranja nizkih vrednosti, ki izpostavi doline oziroma vbočena (konkavna) območja na DMV-ju. Nasprotno pa slika 7 prikazuje matriko kartiranja visokih vrednosti, kjer so označeni grebeni oziroma izbočena (konveksna) območja.

5 Algoritmi analize lokalnih histogramov

Lokalne histograme izdelamo na podlagi vrednosti v lokalnem oknu. V povezavi z obliko histograma lahko opišemo določene oblike površja, kot so oblike vrhov (kopast, oster), dolin ipd. Metoda temelji na predpostavki, da so glede na različne oblike površja različne tudi oblike histogramov (Székely 2001).

Postopek deluje tako, da premikamo lokalno okno po DMV-ju in vsakokrat preberemo vrednosti višin iz okna (podobno bi lahko na primer obravnavali tudi naklone površja). Uporabljena so bila lokalna

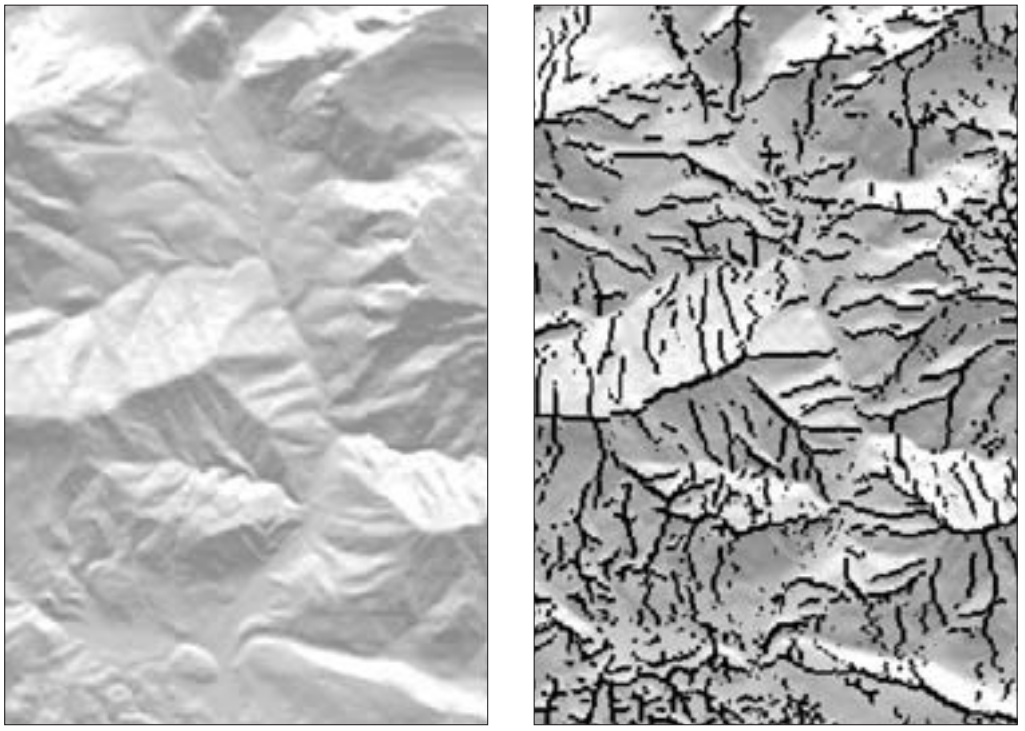


Slika 6: Prikaz senčenja na levi ter rezultat kartiranja nizkih vrednosti in senčenjem na desni strani (DMV 25, uporaba lokalnega okna 3 krat 3).

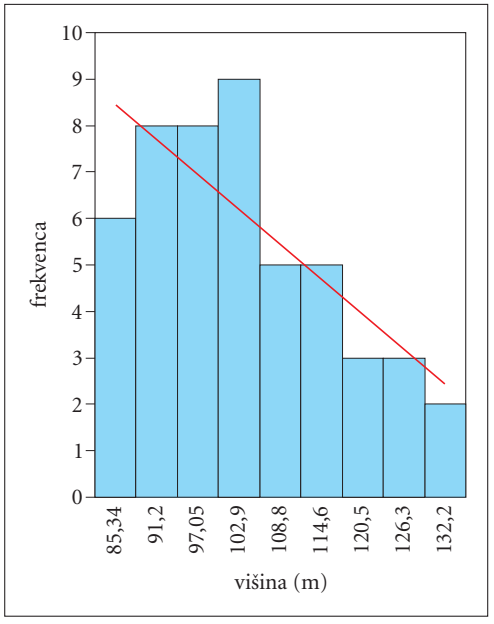
okna dimenzij 3 krat 3 do 9 krat 9, kjer so rezultati optimalni za prepoznavanje oblik površja. Pri lokalnih oknih dimenzij več od 11 krat 11 pa so rezultati vedno bolj grobi in so primerni le za analize zelo generaliziranih oblik površja.

Vrednosti iz lokalnega okna razvrstimo v določeno število razredov po metodi enakih intervalov in na tej podlagi izdelamo histogram. Histogram prikazuje porazdelitev vrednosti po višinah: lahko so enakomerno porazdeljene po vseh razredih histograma, bolj pogosto pa neenakomerno na različne načine. Za samodejno analizo histogramov aproksimiramo obliko histograma, v našem primeru z linearno funkcijo – premico (slika 8). Premica je lahko naraščajoča, padajoča ali nekako uravnana (horizontalna), glede na to pridobimo vrednost naklonskega koeficienta premice, ki je lahko pozitiven, negativen ali se giblje v bližini ničle. Vrednost naklonskega koeficienta linearne funkcije, ki predstavlja obliko histograma, se za vsak premik lokalnega okna pripiše končno matriko (pri tej metodi ne gre za kartiranje vrednosti, temveč se izračunani rezultati zapišejo v sredinsko celico, kakor se to izvaja pri visokoprepustnih filtrih). Torej je od naklona premice odvisno, kakšna atributna vrednost se bo pripisala določeni celici v izhodni matriki in predstavlja določeno obliko površja. Kjer je premica naraščajoča, tam je več visokih vrednosti in lahko sklepamo, da gre za območja (kopastih) vrhov in širših grebenov. Pri padajoči premici je več nizkih vrednosti, kar pomeni, da tam lahko pričakujemo doline in vrtače. Ko pa je premica nekako uravnana, so vrednosti v histogramu enakomerno razporejene in lahko tam predvidevamo pobočja ali ravnine.

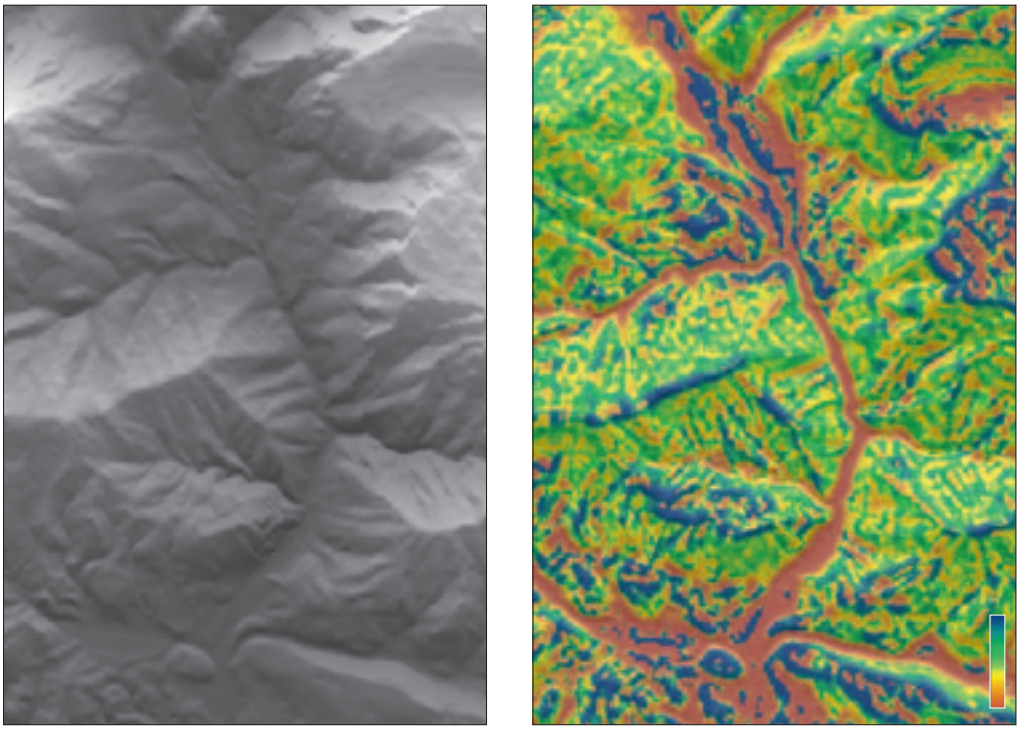
Obliko histograma smo aproksimirali tudi s polinomskimi funkcijami višjih redov, vendar nismo analizirali rezultatov, poleg tega pa postane računanje višjih stopenj polinomov zapletenejše. Predvidevamo, da gre pri tem za prepoznavanje zapletenejših oblik površja, ki pa jih bomo morali še ovrednotiti in klasificirati.



Slika 7: Prikaz senčenja na levi ter rezultat kartiranja visokih vrednosti in senčenja na desni strani (DMV 25, uporaba lokalnega okna 3 krat 3).



Slika 8: Lokalni histogram in trend histograma v obliki linearne funkcije, ki prikazuje določeno obliko površja (gre lahko za vrtačo ali širšo dolino).



Slika 9: Prikaz DMV-ja 25 s hipsometrično lestvico in senčenjem na levi ter rezultat obdelave z metodo lokalnih histogramov in senčenjem na desni strani (DMV 25, uporaba lokalnega okna 5 krat 5).

Slika 9 prikazuje rezultate analize lokalnih histogramov pri uporabi DMV-ja 25. Na sliki je uporabljena barvna lestvica, primerna za interpretacijo rezultatov te metode: širše doline so rjave barve, pobočja so rumene in zelene barve, modre barve pa so širši grebeni, kopasti vrhovi ali planote. Vendar so rezultati manj zanesljivi, saj te ugotovitve veljajo le v grobem. Nekatera manjša območja so na primer v rjavih odtenkih, nahajajo se na pobočjih in ne predstavljajo dolin. Torej ne moremo posplošiti, da določen barvni odtenek (ali sivina) označuje določeno obliko površja. Za metodo lokalnih histogramov ni mogoče reči, da je zelo zanesljiva pri razpoznavanju določenih oblik površja. Daje le grobo oceno, ki je med drugim odvisna tudi od velikosti lokalnega okna. Predvidevamo, da bi lahko pridobili boljše in natančnejše podatke o določenih zapletenejših oblikah površja z aproksimacijo oblike histograma pri uporabi polinoma druge stopnje.

6 Sklep

Predstavili smo nekaj pristopov za prepoznavanje izbranih oblik zemeljskega površja, ki temeljijo na analizi lokalnih oken različnih dimenzij. Preučili smo algoritme za aplikacijo visokoprepustnih filtrov in algoritme za kartiranje ekstremnih vrednosti, ki so se izkazali kot zelo dobri pri odkrivanju in razpoznavanju oblik površja, kot so grebeni, doline in oblike pobočij. Metode na podlagi analize lokalnih oken omogočajo tudi odkrivanje in analizo drugih, zapletenejših oblik površja (na primer oblike vrhov ali vrtač) z uporabo DMV-ja. V ta namen smo izvedli in preizkusili metodo za analizo lokalnih histogramov (na osnovi lokalnih oken). Prikazali smo le osnovne možnosti te metode, ki omogočajo tudi klasifikacijo oblik površja tako v večjem kot tudi manjšem merilu.

Opisana skupina metod samodejnega določanja oblik površja omogoča določanje izbranih oblik površja na različne načine. Rezultati takih analiz seveda niso popolnoma identični. Naslednja naloga bo primerjalna analiza rezultatov posameznih metod, delujočih na podlagi lokalnega okna, in metod, ki omogočajo določanje oblik površja po drugih postopkih (na primer določanje grebenov na podlagi ukrivljenosti površja). Več metod omogoča medsebojno kontrolo rezultatov in hkrati prikaz večje intenzivnosti določenih geomorfoloških pojavov. Uporaba posameznih metod v več ločljivostih bo lahko v pomoč tudi pri generalizaciji DMV-ja. Nadgradnja opisanih metod in medsebojna kombinacija bo omogočila tudi natančnejšo klasifikacijo oblik površja in s tem učinkovitejše razumevanje določenih značilnosti površja. Nenazadnje je raziskava pomembna tudi kot pomoč pri kakovostnejši izdelavi DMV-ja (Podobnikar 2001). Nekatere vrste zapletenejših oblik površja se namreč pojavljajo le na določenih območjih in če jih najdemo na območju, kjer jih ni pričakovati, gre morda za napako v DMV-ju. Po drugi strani pa si s tako analizo lahko pomagamo pri pravilnejšem modeliranju oblik površja (na primer ostrih grebenov v Kamniško-Savinjskih Alpah in manj ostrih v Karavankah).

7 Viri in literatura

Csetverikov, D. 2007: Basic Algorithms for Digital Image Analysis: a course.
Medmrežje: http://ssip2003.info.uvt.ro/lectures/chetverikov/edge_detection.pdf (14. 1. 2008).

Krevs, M. 1992: Iskanje lokalnih reliefnih ekstremov na DMR. Geografski vestnik 64. Ljubljana.

Kvamme, K., Oštir-Sedelj, K., Stančič, Z., Šumrada, R. 1997: Geografski informacijski sistemi. Ljubljana.

Medmrežje 1: http://student.kuleuven.be/~m0216922/CG/filtering.html (18. 1. 2008).

Medmrežje 2: http://www.shearlight.com/Support/EffectShopHelp/html/filterconvolution.html (10. 3. 2008).

Perko, D. 2007: Morfometrija površja Slovenije. Georitem 3. Ljubljana.

Podobnikar T. 2001: Digitalni model reliefa iz geodetskih podatkov različne kakovosti. Doktorska disertacija. Ljubljana.

Podobnikar, T., Székely B. 2008: Analiza potencialno nevarnih vršajev z DMR-jem / Analysis of the potential hazardous talus cones with DTM. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008. Ljubljana.

Székely, B. 2001: On the surface of the eastern Alps a DEM study. Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten. Tübingen.

Vičič, J. 2007: Algoritmi za digitalno obdelavo slik. Učbenik v okviru diplomske naloge, medmrežje: http://www.pef.upr.si/~jernej/diploma/diploma.htm (4. 1. 2008).

NACIONALNA PODATKOVNA BAZA ZEMELJSKIH PLAZOV

dr. Marko Komac
Geološki zavod Slovenije
marko.komac@geo-zs.si

mag. Dušan Fajfar, Damijan Ravnik
IGEA d. o. o.
dusan.fajfar@igea.si, damijan.ravnik@igea.si

dr. Mihael Ribičič
Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani
mribicic@ntfgeo.uni-lj.si

UDK: 551.435.62:004(497.4)
COBISS: 1.17

IZVLEČEK
Nacionalna podatkovna baza zemeljskih plazov
Ena od posledic geološke raznolikosti in slikovitosti slovenskega ozemlja so procesi pobočnih masnih premikov (PMM), ki so pri nas pogost pojav. Škoda, ki jo povzročajo ti pojavi, je velika, a učinkovite preventivne strategije na državnem nivoju še ni. Prvi korak je izdelava nacionalne baze zemeljskih plazov v Sloveniji, ki ga obravnava prispevek. Predstavljeni so gradniki podatkovne baze in vrste podatkov o plazovih ter njihovih posledicah, ki jih vsebuje. Vzdrževana in dopolnjevana baza je osnova za nadaljnje analize pojavov PPM, tako z uporabniškega, kot tudi z znanstveno-raziskovalnega vidika.

KLJUČNE BESEDE
zemeljski plazovi, pobočni masni premiki, podatkovne baze, Slovenija

ABSTRACT
National landslide data base
Among other consequences of the complex geological structure of Slovenian territory is abundant presence of slope mass movements (SMM). Despite high damage costs due to occurrence of these phenomena still no consistent and effective prevention strategy on national level exists. The very first step towards such a strategy that will tackle the problems related to SMM occurrences consists of construction of the National landslide database in Slovenia. Its parts and types of data on landslides and their consequences are presented. Permanent maintenance of the database is a basis for further SMM analyses from the application aspect and from scientific-research aspect.

KEY WORDS
landslide, slope mass movements, database, Slovenia

1 Uvod

Ribičič in sodelavci (1994) so na podlagi raziskave, ki so jo opravili v začetku devetdesetih, ocenili, da je na območju Slovenije med 7000 in 10.000 aktivnih zemeljskih plazov. Po podatkih Statističnega urada Republike Slovenije (medmrežje 1) je bila skupna škoda zaradi plazov (zemeljskih in snežnih) med letoma 1994 in 2004 87,9, milijona evrov. Stroški odprave posledic niso všteti v oceno, prav tako ne neprecenljive človeške žrtve zaradi teh pojavov. V zadnjem desetletju so vremenske ujme, pa naj bodo le-te posledica klimatskih sprememb ali ne, povzročile pojave pobočnih masnih premikov, ki v recentnem antropogenem okolju niso bili prav pogost pojav na območju Slovenije. Nepričakovan obseg pojavov pobočnih masnih premikov je precejšnje breme za državni proračun in občinske proračune.

2 Podatkovne baze zemeljskih plazov v drugih državah

Številne države po svetu vzdržujejo podatkovne baze plazov in vse imajo skupni cilj. Namen prostorskih podatkovnih baz plazov je preučevanje procesov razvoja plazenj, njihovega prostorskega in časovnega pojavljanja ter ocena podvrženosti plazovom, nevarnosti zaradi njih in v končni fazi tveganja za antroposfero. V luči boljšega razumevanja razlogov za izgradnjo Nacionalne podatkovne baze plazov v Sloveniji je smiselno predstaviti pregled stanja podobnih projektov v regionalnem, evropskem in svetovnem merilu.

Vlada avstrijske province Burgenland je financirala projekt sistematičnega zbiranja dejstev o preteklih in sedanjih pojavih plazov ter vzrokov njihovega pojavljanja (Klingseisen in sodelavci 2006). Na podlagi podatkov o zabeleženih plazovih so s pomočjo statističnih metod izračunali verjetnost pojavljanja plazov na obravnavanem območju v prihodnje. Eden od razlogov izdelave karte nevarnosti je bila določitev izpostavljenih območij, kar bo v pomoč odgovornim pri lokalnem in regionalnem načrtovanju prostora.

Italijanski geološki zavod je pod okriljem italijanske agencije za varovanje okolja izdelal Italijanski inventar zemeljskih plazov (projekt IFFI), katerega cilj je določitev nestabilnih pobočij po vsej Italiji na podlagi standardiziranega postopka (medmrežje 2). Trenutno je v bazi okoli 460.000 zapisov o zemeljskih plazovih. Inventar zemeljskih plazov je pomembna osnova za oceno nevarnosti in tveganja zaradi plazov ter za kvalitetno in smotrno prostorsko planiranje. Prek spletne strani projekta, ki deluje kot grafični vmesnik med uporabnikom in bazo, je možno dostopati do podrobnih prostorskih informacij o plazovih na območju Italije in do njihovih splošnih lastnosti/opisov. Podatkovna baza je v italijanskem jeziku.

V začetku devetdesetih let 20. stoletja so prav tako v Italiji v okviru projekta *National Research Council's AVI (Damaged Urban Areas) Project archive* zbrali zgodovinske podatke o plazovih in poplavah v Italiji z namenom določitve tveganja zaradi poplav in pojavljanja plazov na regionalnem nivoju (Guzzetti in Tonelli 2003). Projekt je bil zastavljen zelo široko in ob koncu obsegal zapise o več kot 32.000 plazovih v obdobju med letoma 1900 in 2002. Na podlagi podatkov iz te baze sta Guzetti in Salvati (2003) izvedla analize o žrtvah v Italiji, ki so bile posledica delovanja plazov v istem obdobju. Rezultati so pokazali, da je v 20. stoletju in dveh letih v Italiji zaradi 1882 dogodkov (plazov) izgubilo življenje 5813 ljudi.

V Franciji deluje od leta 1994 francoska nacionalna podatkovna baza zemeljskih plazov (BDMvt), ki jo vzdržuje Geološki zavod Francije (BRGM) ob izdatni pomoči ministrstev (medmrežje 3).

V Švici je Švicarski zvezni raziskovalni institut (WSL) od leta 1972 odgovoren za zbiranje podatkov o poplavah in zemeljskih plazovih (Hegg in Fraefel 2005). Tekom svojega delovanja so zbrali podatke o 15.000 dogodki in o škodi, nastali zaradi njih, ni pa podatka, koliko od teh dogodkov je bilo plazov in koliko poplav.

Podatkovna baza zemeljski plazov v Veliki Britaniji trenutno vsebuje prek 14.000 zapisov, ki se jim vsako leto pridruži še okoli 2000 novih zapisov, ki jih pridobijo iz arhivskih zapisov, ali pa so dodani

kot na novo sproženi plazovi (medmrežje 4). Glavnina virov, iz katerih pridobivajo informacije o plazovih, so geološke karte, izdelane na britanskem geološkem zavodu (BGS). Drugi viri so nacionalna podatkovna baza zemeljskih plazov iz devetdesetih let 20. stoletja, ki so jo izdelali na Oddelku za okoljske študije, ter številne regionalne podatkovne baze, ki so jih od sedemdesetih let dalje zbirali na BGS. Informacije so shranjene v digitalni obliki, uporabljajo pa se tudi za *in-situ* kontrolo in izboljšanje nacionalnega informacijskega sloja podvrženosti pojavljanju plazov *GeoSure*.

Irska je dežela, kjer v (človeku dojemljivi) preteklosti ni bilo veliko pojavov pobočnih masnih premikov. Zaradi razvoja in z njim povezanih posegov v prostor, predvsem na nevarnejša območja, ter zaradi podnebnih sprememb so trendi pojavljanja plazov in z njimi nevarnosti v porastu. Delovna skupina za zemeljske plazove je zadolžena za izdelavo nacionalne podatkovne baze preteklih zemeljskih plazov, ki bo osnova za boljše razumevanje procesov plazenj, pomoč pri standardizaciji kartiranja plazov in orodje za zmanjševanje negativnih posledic pojavov pobočnih masnih premikov v prihodnje (medmrežje 5). Projekt je šele v začetni fazi.

Koncem osemdesetih in v začetku devetdesetih let 20. stoletja je pod okriljem organizacije UNESCO delovala delovna skupina za plazove (UNESCO WP/WLI), katere naloga je bila sestaviti podroben seznam zemeljskih plazov po vsem svetu. Glavni rezultati dela skupine je bil slovar z definicijami pobočnih masnih premikov (medmrežje 6; Brown in sodelavci 1992).

Na podlagi tokijskega akcijskega načrta *2006 Tokyo Action Plan – Strengthening Research and Learning on Landslides and Related Earth System Disasters for Global Risk Preparedness* je bil s strani članov Mednarodnega konzorcija za zemeljske plazove (ICL) in podpornih organizacij (UNESCO, WMO, FAO, UN/ISDR, UNEP, UNU pri Univerzi ZN in japonski vladi) (medmrežje 7) ustanovljen Globalni odbor za promocijo Mednarodnega programa o plazovih (IPL). Glavna naloga Konzorcija je vzdrževati svetovno podatkovno bazo zemeljskih plazov (medmrežje 8).

3 Nacionalna podatkovna baza zemeljskih plazov

Zavedajoč se problematike pobočnih masnih premikov v Sloveniji so ministrstva, pristojna za to področje, podprla financiranje postavitev (ne pa tudi vzdrževanja) nacionalne podatkovne baze zemeljskih plazov v Sloveniji (Fajfar in sodelavci, 2005; Ribičič in sodelavci 2006). Ta baza je pravzaprav podatkovna baza pobočnih masnih premikov, saj zapisi v njej opisujejo različne tipe procesov, zemeljskih plazov, skalnih podorov in drobirskih tokov. V nadaljevanju bo baza imenovana kot baza zemeljskih plazov, v imenu katere pa je treba besedno zvezo »zemeljski plazovi« obravnavati mnogo širše, kot analogijo pobočnim masnim premikom. Nekaj pionirskega dela v obliki terenskega zbiranja delčka današnjih podatkov, njihova digitalizacija in kasnejši prenos v GIS je bilo opravljenega že v prvi polovici devetdesetih let (Ribičič in sodelavci 1994). Na žalost je zanos raziskovalcev kmalu zamrl, predvsem zaradi ukinitve finančnih virov. Vse do leta 2003 je na področju izdelave skupne podatkovne baze zemeljskih plazov na nacionalni ravni potekalo malo aktivnosti.

Dandanes je ažurna in kvalitetna baza zemeljskih plazov ključnega pomena za Ministrstvo za okolje in prostor pri ocenah neposredne nevarnosti (karte geohazarda), pri načrtovanju preventivnih ukrepov in pri odpravljanju posledic procesov pobočnih masnih premikov. Skoraj vsak dan se na slovenskem ozemlju pojavi novi pobočni masni premiki, ki so nastali ali zaradi naravnih sprožilcev ali pa zaradi človeške dejavnosti. Z odpravljanjem posledic pobočnih masnih premikov so običajno povezani ogromni stroški, katerih breme delno prevzame država. S smiselno in dosledno uporabo Nacionalne podatkovne baze zemeljskih plazov, bi se bilo možno izogniti marsikateremu strošku, namenjenemu za sanacijo.

Podatkovna baza je v veliko pomoč tudi Upravi Republike Slovenije za zaščito in reševanje, katere naloge so med drugim tudi priprava analiz tveganj in ogroženosti ter priprava državnih načrtov zaščite in reševanja. Brez ažurne in kvalitetne Nacionalne podatkovne baze zemeljskih plazov opravljanje teh nalog ni možno.

Cilji projekta izdelave Nacionalne podatkovne baze zemeljskih plazov so bili:
- vzpostavitev centralne podatkovne baze zemeljskih plazov, ki bi bila uporabna tudi za beleženje drugih naravnih pojavov,
- izdelava informacijskega sistema, ki bo omogočal dostop, vnos ali popravek podatkov o plazovih različnim uporabnikom preko spletne aplikacije.

Podatkovna baza bo:
- osnova za prostorske in časovne analize pojavljanja pobočnih masnih premikov ter
- osnova za modeliranje in izdelavo kart geoloških nevarnosti v različnih merilih.

Aplikacija bo obenem:
- omogočala različnim uporabnikom dostop do podatkov, skladno z njihovimi uporabniškimi pravicami ali pristojnostmi.

4 Zbiranje podatkov

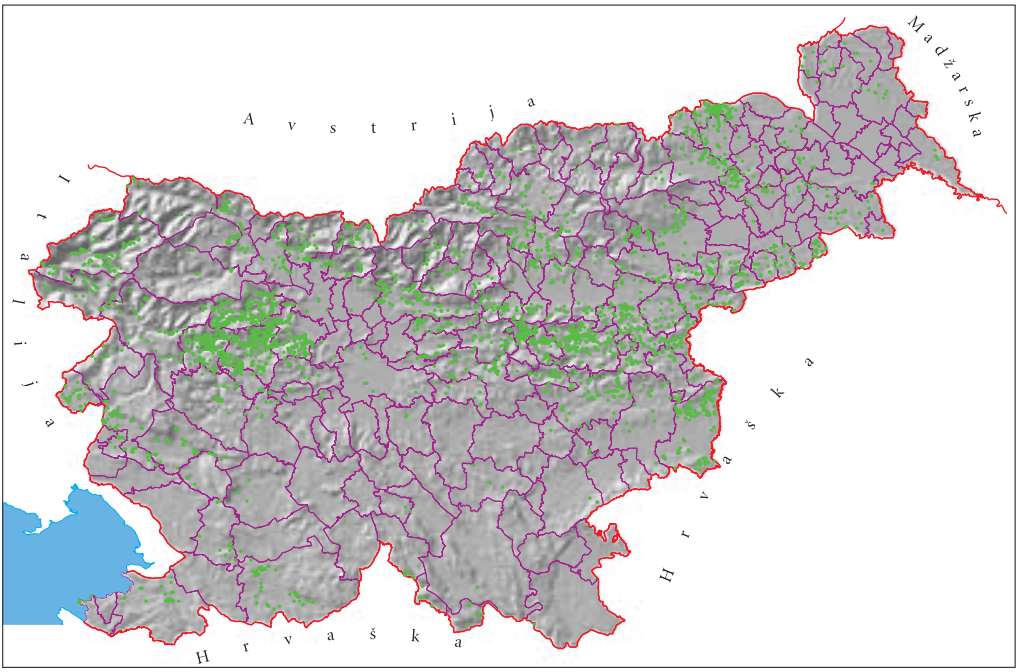
Obstoječi podatki o pojavih pobočnih masnih premikov so bili zbrani iz številnih, po kakovosti zelo različnih virov. Ti viri so bili Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje, Direktorat Republike Slovenije za ceste (DRSC), Agencije za okolje Republike Slovenije (ARSO), Geološki zavod Slovenije (GeoZS) in drugi, manjši in razpršeni viri, predvsem občine. Podatki, ki so bili pridobljeni v različnih oblikah, so bili najprej analizirani, dvojni zapisi odstranjeni ter združeni v skupno podatkovno bazo. Kakovost podatkov je do neke mere vprašljiva, saj so bile posamezne podatkovne baze redko vzdrževane. Najbolj izstopajoči problemi so bili različni podatkovni atributi, manjkajoči ali podvojeni podatki ter nekvalitetni oziroma zavajajoči podatki. Slednji so predvsem posledice pomanjkanja strokovne izobrazbe lokalnih in občinskih zbiralcev podatkov o zemeljskih plazovih (Komac in sodelavci 2005a).

Preglednica 1: Število pobočnih masnih premikov, zbranih iz različnih virov in vključenih v Nacionalno bazo zemeljskih plazov.

vir plazov	število plazov	število plazov z znano lokacijo	delež plazov z znano lokacijo
URSZR	1459	1459	100,0 %
DRSC	432	5	1,2 %
ARSO	2575	491	19,1 %
GeoZS	464	392	84,5 %
skupaj (11. 1. 2005)	4930	2003	40,6 %
posredovano od občin (30. 6. 2005)	1672	1581	94,5 %
skupaj (30. 6. 2005)	6602	3257	49,3 %

Ob koncu projekta sta bila v Nacionalno podatkovno bazo zemeljskih plazov vključena 6602 pojava pobočnih masnih premikov (slika 1), od katerih jih je bilo prostorsko lociranih 3257. Končni cilj projekta je bil vzpostaviti živo podatkovno bazo, v katero bi ažurno ali vsaj periodično vnašali podatke.

Podatkovna baza zemeljskih plazov je sestavljena iz več sklopov podatkov:
- osnovni podatki:
  - oznaka,
  - ime,
  - lokacija,
  - datum sprožitve;



Slika 1: Pregled vseh pobočnih masnih premikov, zajetih v Nacionalni podatkovni bazi zemeljskih plazov.

- register prostorskih podatkov:
  - občina,
  - naselje;
- koordinate:
  - Gauss-Krüger;
- stanje plazu:
  - status,
  - hitrost,
  - dimenzije,
  - geologija;
- sanacija plazu;
- stroški sanacije;
- prioriteta;
- dokumentacija;
- aktivnosti na plazu;
- posledice pojava plazu:
  - poškodovani in ogroženi objekti,
  - ceste,
  - stavbe,
  - javna infrastruktura,
  - zemljišča.

Informacijski sistem zemeljskih plazov sestavljata dve vrsti podatkov: prostorski oziroma grafični podatki in njihovi atributi. Slednji so shranjeni v podatkovni bazi Oracle 9i2R, v katero so bili preneseni podatki različnih oblik (dbf, MS Excel, MS Access). Prostorski podatki o lokacijah pobočnih masnih

premikov so shranjeni v dodatku baze Oracle, imenovanem Oracle Spatial. Rastrski prostorski podatki vključeni v sistem, na primer kartografske in ortofoto podlage, so shranjeni na datotečnem strežniku, vektorski podatki, na primer kataster zemljišč in infrastruktura, pa so shranjeni v dodatku Oracle Spatial.

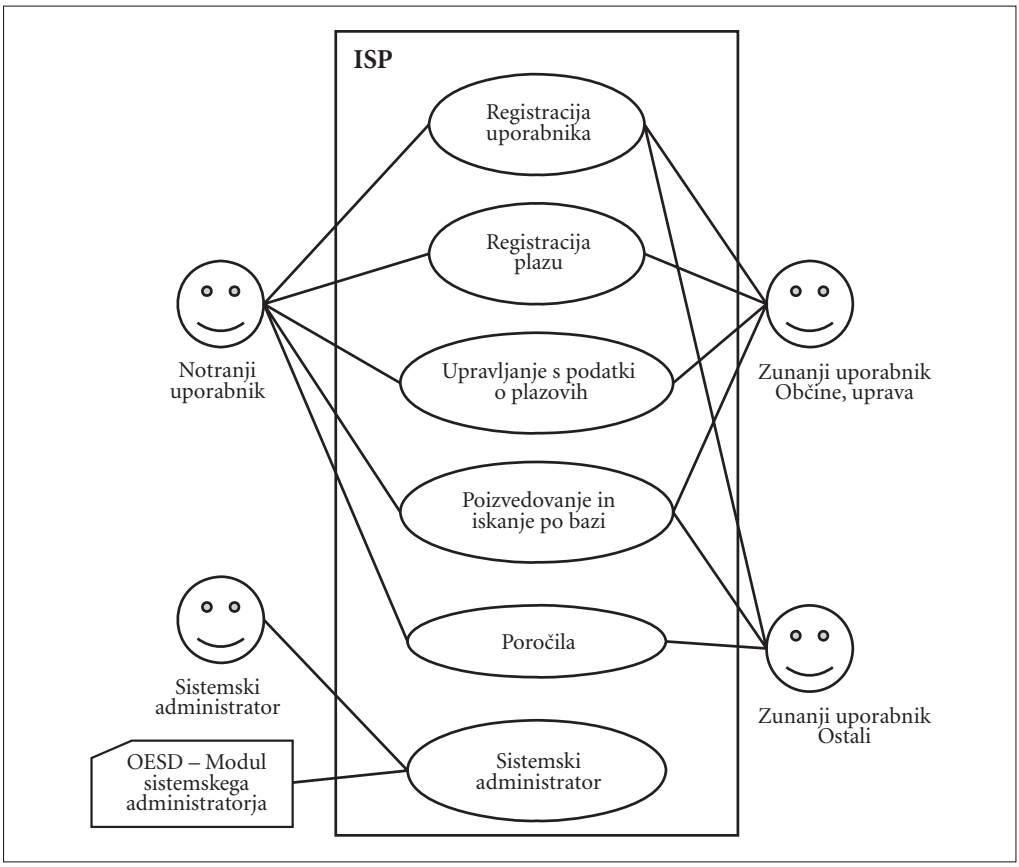
5 Informacijski sistem zemeljskih plazov

Informacijski sistem zemeljskih plazov (ISP) sestavljajo trije ločeni moduli: modul za avtorizacijo uporabnikov, modul za atributne podatke in modul za prostorske podatke. Uporabniki sistema so razdeljeni v tri skupine, administratorska skupina, notranji uporabniki in zunanji uporabniki (slika 2).

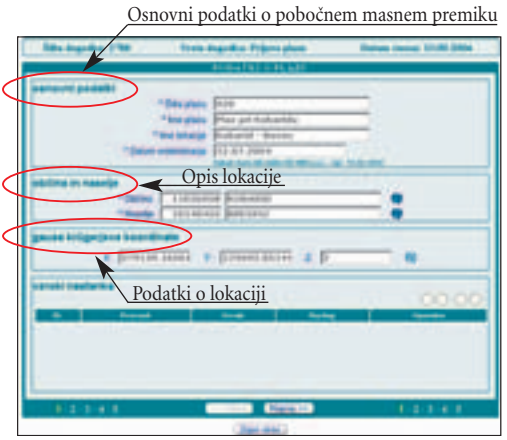
Modul za avtorizacijo uporabnikov omogoča:

- upravljanje z uporabniki in njihovimi pravicami (uporabniško ime in geslo),
- dostop do aplikacije,
- preverjanje digitalnih certifikatov.

Trenutno je prijava v sistem možna le z digitalnim certifikatom SIGEN-CA, saj so podatki shranjeni znotraj omrežja HKOM. Za avtorizacijo uporabnika skrbi sistem RPAS, s katerim sistemski



Slika 2: Shema konceptualnega modela informacijskega sistema zemeljskih plazov.



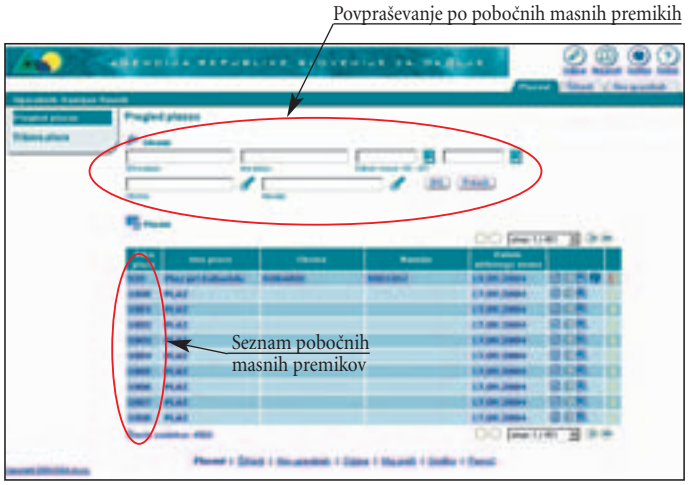
Slika 3: Obrazec za registracijo zemeljskega plazu – osnovni podatki.

administrator vodi in koordinira uporabniški dostop do evidence zemeljskih plazov, s čimer se zagotovi varnost podatkov. Za vnos novih uporabnikov skrbi pooblaščeni sistemski administrator.

Modul za atributne podatke omogoča:

- registracija zemeljskih plazov (slika 3),
- spreminjanje podatkov o zemeljskih plazovih,
- vodenje evidence dogodkov, ki zadevajo posamezne ali skupino plazov,
- poizvedovanje in iskanje podatkov o zemeljskih plazovih (slika 4),
- upravljanje z atributnimi podatki,
- urejanje šifrantov.

ISP zagotavlja vsem avtoriziranim uporabnikom (občine, URSZR, DRSC, ARSO itd.) registracijo pobočnih masnih premikov prek spletne aplikacije. Prijava pojava pobočnega masnega premika je možna s predpisanim obrazcem v aplikaciji, ki obsega več nivojski vnos podatkov in do katerega pride uporabnik ob izbiri menija »prijava plazu«. Na prvem nivoju uporabnik vnese osnovne podatke o pojavu, podrobnejše podatke o premikih (če so znani) in določi lokacijo plazu z vnosom atributnih podatkov ali pa z uporabo GIS spletnega pregledovalnika, kjer določi lokacijo neposredno na zemljevidu.

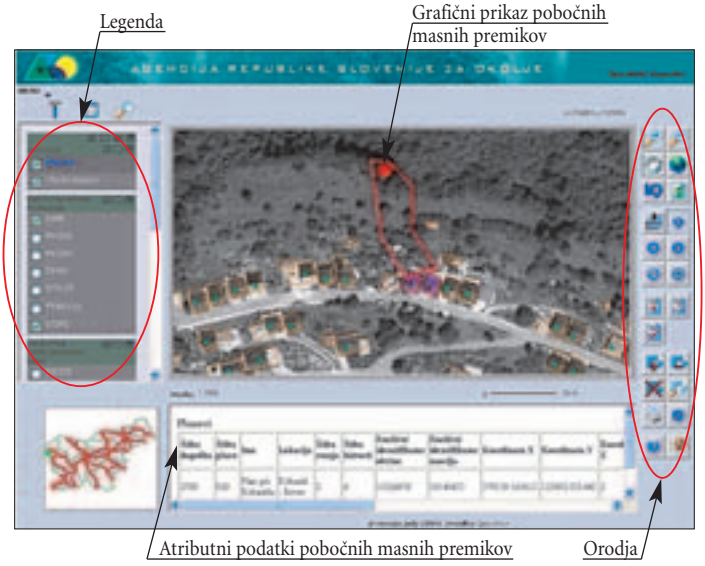


Slika 4: Iskanje in poizvedovanje po bazi zemeljskih plazov.

Slika 5: Pregled dogodkov, vezanih na posamezni zemeljski plaz.

Sistem omogoča sledenje dogodkov oziroma evidentiranje vseh sprememb podatkov. Za vsak zabeležen podatek se zabeleži informacija o uporabniku in datumu opravljene spremembe. Vsaka sprememba podatkov se lahko izvaja le v okviru določenega dogodka oziroma postopka. Naziv dogodka uporabnik določa sam, preko šifranta. Pred izvedbo kakršne koli spremembe na podatkih mora uporabnik naprej določiti vrsto dogodka, razlog za spremembo ter datum evidentiranja. Vsak dogodek se vodi kot samostojna entiteta s čimer je vedno omogočeno ponovno prikazovanje ne glede na trenutno stanje plazu. Uporabnik lahko spreminja le podatke plazov, ki jih je vnesel sam oziroma so v njegovi pristojnosti, ostale podatke pa lahko le pregleduje. Pooblaščeni uporabnik, ki je odgovoren za vsebino podatkovne baze, potrdi ali zavrne spremembe, ki jih je opravil uporabnik. Tak postopek kontrole zagotavlja minimalni nivo kvalitete podatkov v bazi.

Sistem omogoča beleženje vseh dogodkov na plazu skozi njegovo celotno življenje s pomočjo zapisov o zgodovini sprememb. S pomočjo teh zapisov je mogoč nadzor nad izvajalci sprememb podatkov in nad kronologijo sprememb.



Slika 6: Podoba grafičnega prikaza podatkov, vezanih na zemeljske plazove.

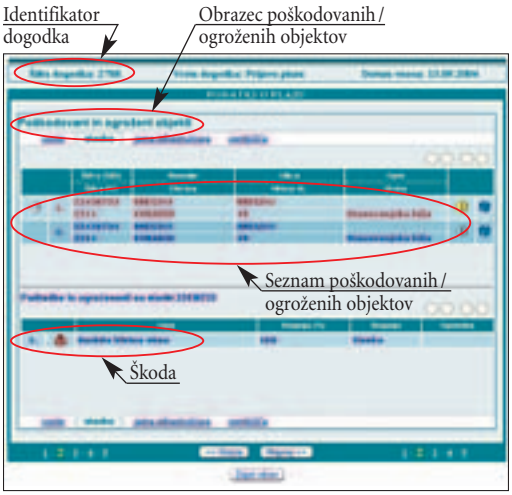
Modul za prostorske podatke (GIS spletni pregledovalnik) omogoča:
- pregledovanje različnih grafičnih slojev,
- kontrolo različnih grafičnih slojev,
- povečevanje in pomanjševanje pogleda,
- premik po grafičnem sloju,
- identifikacijo entitet,
- merjenje razdalj,
- celoten pregled grafičnega sloja,
- odpiranje/zapiranje tem vsebinskih slojev,
- izbiranje različnih objektov v sloju ter njihov prenos v atributni del aplikacij.

Slika 6 prikazuje postavitev Modula za prostorske podatke z prikazovalnikom, orodji, legendo in prikazom atributov pobočnega masnega premika.

Modul za prostorske podatke vključuje sledeče grafične sloje:
- plazovi:
  - obris plazu – poligon,
  - lokacija plazu – centroid;
- kartografske podlage:
  - digitalni model višin DMV,
  - pregledna karta v merilu 1 : 500.000,
  - pregledna karta v merilu 1 : 250.000,
  - topografska karta v merilu 1 : 50.000,
  - državna topografska karta v merilu 1 : 25.000,
  - temeljni topografski načrt,
  - digitalni ortofoto v merilu 1 : 5.000;
- register zemljepisnih imen;
- register nepremičnin:
  - parcelni deli,
  - parcelne številke,
  - deli katastrskih občin,
  - izpostave območne geodetske uprave,
  - stavbe;
- register prostorskih enot:
  - upravne enote,
  - občine,
  - naselja,
  - hišne številke;
- prometna infrastruktura:
  - državne ceste,
  - KM tablice,
  - lokalne ceste;
- sile za zaščito, reševanje in pomoč:
  - centri za obveščanje,
  - območje centrov za obveščanje.

Z dodatnim modulom je možen pregled pojavljanja pobočnih masnih premikov in njihovih posledic (slika 7). Ta dodatek omogoča podroben vpogled in spremljanje poškodovanih objektov s popisom škode ter in ogroženih objektov zaradi pojava pobočnega masnega premikanja.

Aplikacija je razdeljena v dva tehnično ločena sklopa, atributni in GIS sklop, ki sta za uporabnika povezana v enotno aplikacijo. Atributni del je izdelan s spletno tehnologijo JSP (Java Server Pages) z Oraclovo nadgradnjo ADF (Application Development Framework). Aplikacija deluje na Apache aplikacijskem



Slika 7: Obrazec za opis škode ali ogroženih objektov zaradi pojava zemeljskega plazu.

strežniku in uporablja Oracle Container For JAVA (OC4j) nad Oracle podatkovno bazo 9i2R. Grafični del aplikacije (GIS sklop) je bil razvit v okolju Delphi na osnovi ESRI MapObjects orodij. Na nivoju odjemalca se uporablja spletni pregledovalnik, na aplikacijskem nivoju deluje grafični strežnik v tehnologiji Java (JSP, Java, Java aplet ter JavaScript) ter na podatkovnem nivoju rastrski, vektorski ter atributni podatki (rastrski podatki se nahajajo na datotečnem sistemu, vektorski podatki se nahajajo v Oracle Spatial).

Aplikacija je bila v začetni fazi testno instalirana na opremi in na lokaciji IGEA (Apache aplikacijski strežni in podatkovni strežnik Oracle 9i2R), kasneje pa je bila premeščena na strežnik HKOM. Sistem uporablja distribucijsko okolje GURS-a za dostop do prostorskih podatkov. Aplikacija se lahko uporablja samo z uporabo certifikata SIGEN-CA.

Začetna faza je bila končana uspešno, v cilju optimizacije delovanja podatkovne baze pa je pričakovati izvajanje stalnih izboljšav in popravkov.

6 Sklep

Izgradnja, obstoj in vzdrževanje Nacionalne podatkovne baze zemeljskih plazov je temelj za prostorske analize izpostavljenosti človekovega okolja zaradi njih ter osnova za smotrno in preventivno prostorsko planiranje z vidika pojavljanja pobočnih masnih premikov. Baza je že bila uporabljena kot podlaga za boljše razumevanje procesov pobočnih masnih premikov, vzročnih in sprožilnih dejavnikov (Komac in sodelavci 2005b) ter za izdelavo kakovostnejših modelov napovedi teh naravnih procesov. Na podlagi podatkov in rezultatov analiz, temelječih na teh podatkih je bil izdelan zemljevid verjetnosti pojavljanja pobočnih masnih premikov, katerega kakovost pa se ob stalnem dopolnjevanju baze z novimi vnosi pojavov pobočnih masnih premikov dopolnjuje in izboljšuje.

Tako je bil na podlagi analize prostorskega pojavljanja plazov, ki so bili vključeni v predstavljeno bazo, izdelan zemljevid verjetnosti pojavljanja plazov za območje Slovenije v merilu 1 : 250.000 (Komac in Ribičič 2006). Za izbrani učni del populacije plazov so bili s pomočjo univariatne statistične analize (χ^2) analizirani vplivi prostorsko-časovnih *povzročiteljev* ter vplivi *sprožilnih* dejavnikov. Predstavljena uporaba Nacionalne baze zemeljskih plazov je le ena od mnogih. Iz opisanega lahko zaključimo, da omogoča vzdrževanje baze zemeljskih plazov na državni ravni doseganje treh ciljev odpravljanja naravnih nevarnosti:

- temeljnega znanstveno-raziskovalnega z omogočanjem boljšega razumevanja prostorskega in časovnega pojavljanja pobočnih masnih premikov, vzrokov njihovega pojavljanja ter procesov transporta in odlaganja mas,
- aplikativno preventivnega v obliki učinkovitega pripomočka pri smotrnem prostorskem planiranju na državnem, regionalnem in občinskem nivoju ter
- aplikativno kurativnega v obliki ažurnega pregleda pojavov, z njimi povezanih škod in nadzor nad odpravljanjem posledic.

7 Viri in literatura

Brown, W. M., Cruden, D. M., and Dennison, J. S. 1992: The Directory of the World Landslide Inventory. United States Geological Survey, Open-File Report 92–427. Reston.

Fajfar, D., Ravnik, D., Ribičič, M., Komac, M. 2005: Slovenian National Landslide DataBase as a solid foundation for the landslide hazard analysis. Geophysical Research Abstracts 7. Katlenburg-Lindau.

Guzzetti, F., Salvati, P. 2003: Flood and landslide fatalities and evaluation of geo-hydrological risk in Italy. Geophysical Research Abstracts 5. Katlenburg-Lindau.

Guzzetti, F., Tonelli, G. 2003: A database of historical information on landslides and floods in Italy. Geophysical Research Abstracts 5. Katlenburg-Lindau.

Hegg, C., Fraefel, M. 2005: Flood and landslide damage in Switzerland – distribution, causes and evolution. Geophysical Research Abstracts 7. Katlenburg-Lindau.

Klingseisen, B., Leopold, P. Tschach, M. 2006: Mapping Landslide Hazards in Austria. ARC News, Fall 2006, ESRI. Redlands.

Komac, M., Ribičič, M. 2006: Landslide susceptibility map of Slovenia at scale 1 : 250.000 = Karta verjetnosti pojavljanja plazov v Sloveniji v merilu 1 : 250.000. Geologija, 49-2. Ljubljana.

Komac, M., Ribičič, M., Šinigoj, J., Krivic, M., Kumelj, Š. 2005b: Analiza pojavljanja plazov v Sloveniji in izdelava karte verjetnosti plazenj: fazno poročilo za leto 2005. Poročilo, Geološki zavod Slovenije. Ljubljana.

Komac, M., Šinigoj, J., Krivic, M., Kumelj, Š., Hribernik, K. 2005a: Novelacija in nadgradnja informacijskega sistema o zemeljskih plazovih in vključitev v bazo GIS_UJME: fazno poročilo za leto 2004. Poročilo, Geološki zavod Slovenije. Ljubljana.

Medmrežje 1: http://www.stat.si/letopis/index_vsebina.asp (26. 2. 2008). Ljubljana.

Medmrežje 2: www.sinanet.apat.it/progettoiffi (4. 11. 2007). APAT 2007: Italian Landslides Inventory. APAT – Italian Agency for environmental protection and technical services, Department of soil protection and land resources – Italian Geological Survey. Rim.

Medmrežje 3: http://www.bdmvt.net/presentation.asp (4. 11. 2007). BRGM 2007: Base de Données Nationale sur les Mouvements de Terrain (BDMvt). Orléans.

Medmrežje 4: http://www.bgs.ac.uk/science/physical_hazards/landslides/landslides_database.html (4. 11. 2007). BGS 2007: National Landslide Database. British Geological Survey. Nottingham.

Medmrežje 5: http://www.gsi.ie/Programmes/Quaternary+Geotechnical/Landslides/National+Landslide+Database.htm (4. 11. 2007). GSI 2007: National Landslide database. Geological Survey of Ireland. Dublin.

Medmrežje 6: http://www.landslides.ggl.ulaval.ca/tcl/glossary.html (4. 11. 2007). UNESCO WP/WLI 1990: A suggested method for reporting a landslide. Bulletin International Association for Engineering Geology 41.

Medmrežje 7: http://www.iclhq.org/ (4. 11. 2007). ICL 2007: International Consortium on Landslides. International Consortium on Landslides. Kyoto.

Medmrežje 8: http://www2.co-conv.jp/~landslide/v2/landslide/simple.php (4. 11. 2007). ICL 2006: Database of Landslides of the World. International Consortium on Landslides. Kyoto.

Ribičič, M., Buser, I., Hoblaj, R. 1994: Digitalno atributna / tabelarična baza zemeljskih plazov Slovenije za terenski zajem podatkov. Prvo slovensko posvetovanje o zemeljskih plazovih, Idrija, 17. in 18. november 1994. Idrija.

Ribičič, M., Komac, M., Mikoš, M., Fajfar, D., Ravnik, D., Gvozdanovič, T., Komel, P., Miklavčič, L., Kosmatin Fras, M. 2006: Novelacija in nadgradnja informacijskega sistema o zemeljskih plazovih in vključitev v bazo GIS_UJME: končno poročilo. Poročilo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana.

SURS 2005: Statistične informacije 2 – Okolje 1. Ljubljana.

MODELIRANJE PLAZOVITOSTI S POMOČJO DEMPSTER-SHAFERJEVEGA ALGORITMA

dr. Matija Zorn, dr. Blaž Komac
Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU
matija.zorn@zrc-sazu.si, blaz.komac@zrc-sazu.si

UDK: 528.94:551.435.62(497.473)
COBISS: 1.16

IZVLEČEK
Modeliranje plazovitosti s pomočjo Dempster-Shaferjevega algoritma
V članku na primeru Goriških brd predstavljamo izdelavo zemljevidov plazovitosti oziroma procesnih geomorfoloških zemljevidov za zemeljske plazove s probabilistično metodo.
Probabilistične metode za modeliranje plazovitosti v nasprotju od deterministčnih metod uporabljamo, ko so na razpolago podatki o dejanskih zemeljskih plazovih. Z njihovo pomočjo ugotavljamo razširjenost in stopnjo intenzivnosti pobočnih procesov na podlagi primerjave pokrajinskih prvin z dejanskim stanjem – v našem primeru so to že sproženi zemeljski plazovi. Zemljevid smo izdelali z Dempster-Shaferjevim algoritmom, vključenim v geografski informacijski sistem.

KLJUČNE BESEDE
geografija, geomorfologija, zemljevidi plazovitosti, probabilistični modeli, Dempster-Shaferjev algoritem, Goriška brda, Slovenija

ABSTRACT
Modelling of landslide hazard using Dempster-Shafer algorithm
Presented is probabilistic modelling of landslide hazard on the example of flysch Goriška brda hills, western Slovenia.
In landslide hazard map elaboration probabilistic modeling can be used if the data on actual landslides are available. Within the elaboration of such maps we compare the elements of landscape with known geomorphic processes to ascertain the intensity and spatial distribution of geomorphic processes. The Dempster-Shafer algorithm incorporated in geographic information system was used for the elaboration of the hazard map.

KEY WORDS
geography, geomorphology, hazard maps, probabilistic modeling, Dempster-Shafer algorithm, Goriška brda hills, Slovenia

1 Uvod

Zemljevidi geomorfnih procesov so eden od preventivnih ukrepov v boju proti naravnim nesrečam.

Metode izdelave takšnih zemljevidov delimo na neposredne oziroma kvalitativne ali izkustvene (geomorfološko kartiranje) in posredne ali kvantitativne (izdelava s pomočjo geografskih informacijskih sistemov). Posredne metode delimo na deterministične (metoda ponderiranja), statistične in verjetnostne (Zorn in Komac 2004), primer je probabilistična metoda, ki jo predstavljamo.

Prednost deterministčnih metod je, da omogočajo izdelavo zemljevidov plazovitosti s primerjavo posameznih pokrajinskih prvin ne da bi pri tem upoštevali pojave, ki so se že zgodili. To pa na primer omogočajo nekatere statistične deterministične metode (van Westen 1994). Če pa imamo na razpolago podatke o že sproženih plazovih, je bolje uporabiti probabilistične metode. Uporabljena probabilistična metoda (prvič v Sloveniji smo za modeliranje plazovitosti uporabili Dempster-Shaferjev algoritem) je primerna za ugotavljanje plazovitosti, pa tudi za modeliranje drugih naravnogeografskih ali družbenogeografskih pojavov.

Pri izdelavi zemljevida smo upoštevali naslednje vplivne dejavnike za plazenje (Zorn in Komac 2002; 2004; 2005; 2007):

- litološko sestavo,
- naklon površja,
- vodoravno ukrivljenost površja,
- vpad kamninskih skladov,
- indeks moči vodnih tokov (Linsday 2002),
- indeks namočenosti tal (Linsday 2002),
- maksimalne 24-urne padavine,
- rabo tal in
- dejanske zemeljske plazove iz leta 1998 ($n > 800$).

Izračuni so bili narejeni s programskima paketoma *Idrisi* 3.2 in *TAS* 2.0.7 na podlagi digitalnega modela višin z velikostjo osnovne celice 12,5 krat 12,5 m (© Geodetska uprava Republike Slovenije).

Probabilistični model plazovitosti smo izdelali na primeru južnih Goriških brd, kjer so bile jeseni leta 1998 padavine s približno petdesetletno povratno dobo. Tako je šestega oktobra v 24 urah padlo 175 mm padavin, v času od 28. septembra do 13. oktobra pa skupaj 433 mm padavin, ali povprečno 31 mm padavin dnevno. Intenzivne padavine so zlasti v flišnih južnih Goriških brdih sprožile prek 800 zemeljskih plazov, ki so na 41,32 km^2 velikem območju obsegali 1,7 % površine (Zorn in Komac 2007a; Ažman Momirski in ostali 2008).

2 Plazovi in GIS

Z razvojem geografskih informacijskih sistemov se je povečala tudi možnost njihove uporabe za preučevanje plazovitosti oziroma zemeljskih plazov. Carrara in Pike (2008, 257) navajata, da je le malo predmetov preučevanja, pri katerih so GIS postali tako pomembni. Modeliranje plazovitosti ima pri preučevanju zemeljskih plazov prek četrt stoletja dolgo tradicijo (Carrara 1983). Na pospešen razvoj modeliranja sta vplivala predvsem kakovost digitalnega modela višin, kot enega osnovnih vhodnih podatkov, saj ima relief pomembno vlogo za plazenje, in razvoj primernih programskih orodij. Kljub četrtstoletnemu razvoju pa po mnenju Carrare in Pike-a (2008, 257) še vedno ostajata dve osnovi težavi: uporaba neprimernih vhodnih podatkov in nepravilna uporaba modelov. Plazenje je rezultat součinkovanja več (pogosto tudi neznanih) dejavnikov, zato tudi vse večje število uporabnikom bolj prijaznih GIS programskih orodij ne pomeni, da je modeliranje plazenja postalo enostavnejše.

Čeprav nimamo univerzalne metode za preučevanje plazovitosti, v zadnjem času prevladujejo kvantitativne metode nad kvalitativnimi. Tudi zanesljivost metod ni enotna, saj uporabljamo različna programska orodja in merila, pa tudi različne vhodne podatke. Avtorji ponavadi več pozornosti name-

nijo samo metodi, kot pa vhodnim podatkom, čeprav še tako dobra metoda ne more nadomestiti kakovostnih vhodnih podatkov. Modele povečini testirajo računsko, pri čemer validacije ne smemo razumeti absolutno (v smislu: da/ne, prav/narobe), pač pa relativno (v smislu: boljše/slabše, več/manj). Težava pri modeliranju plazovitosti s pomočjo geografskega informacijskega sistema (GIS) pa je tudi, da zemljevide redko uporabljajo organi odločanja (Carrara in Pike 2008, 259–260).

2.1 Metoda

V slovenski geografiji smo doslej povečini uporabljali deterministične metode, predvsem metodo ponderiranja (Natek in ostali 2003; Zorn in Komac 2004; 2005) in metodo matrik (Zorn in Komac 2004; Komac in Zorn 2005), v zadnjem času pa uporabljamo tudi probabilistične metode (Komac in Zorn 2007a; Zorn in Komac 2007). V slovenski geologiji se je v zadnjih letih predvsem uveljavila statistična metoda (Komac 2005), ki je že bila predstavljena v knjižni zbirki *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji* (Komac 2004; 2006).

Zemljevid plazovitosti smo izdelali s pomočjo Dempster-Shaferjevega algoritma (Dempster 1968; Shafer 1990). Metodo so med drugimi uporabili Binaghi in ostali (1998), Gorsevski, Jankowski in Gessler (2005) ter Damm in Varga (2006). Probabilistični metodi smo dali prednost pred statistično, saj je po van Westnu (2004, 249) slabost statističnih metod v tem, da je treba dobljeni zemljevid umeriti s podatki o dejanskih plazovih, ki pa so prej že bili uporabljeni pri izdelavi zemljevida. To je neke vrste krožno sklepanje, čemur se moramo po navedbi istega avtorja izogibati.

V uporabljenem modelu smo upoštevali omenjenih osem vplivnih dejavnikov, uporabili pa smo še podatke Občine brda o dejanskih zemeljskih plazovih, ki so se sprožili leta 1998.

Poglavitna težava pri izdelavi takšnih zemljevidov je, kako med seboj (pravilno) primerjati različne podatkovne sloje oziroma vplivne dejavnike. Dempster-Shaferjev algoritem primerja posamezne vplivne dejavnike na določenem območju z dejanskimi pojavi plazenja. Za vsak dejavnik tako s pomočjo GIS izdelamo delni zemljevid, ki prikazuje, kje na obravnavanem območju je večja, in kje je manjša možnost plazenja. Algoritem nato na vse hierarhično možne načine primerja vplivne dejavnike ter zanje izračuna, kakšne so značilne vrednosti na plazovitih območjih. Te vrednosti privzame kot merilo, s pomočjo katerega nato za vsak dejavnik ugotovi mejne vrednosti, znotraj katerih prihaja do plazenja. Tako na primer za naklon ugotovimo, da plazenja ni pod določeno vrednostjo (na primer 6°) ali nad določeno vrednostjo (na primer 30°). Algoritem nazadnje celotno območje preučevanja primerja s tako postavljenim merilom na ravni celic digitalnega modela višin. Program deluje po Dempster-Shaferjevem algoritmu (Dempster 1968; Shafer 1990), ki ga opisuje naslednje pravilo:

$$m(Z) = \frac{\sum m_1(X) \cdot m_2(Y); X \cap Y = Z}{1 - \sum m_1(X) \cdot m_2(Y); X \cap Y = 0},$$

pri čemer je m(Z) temeljna pripisana verjetnost ali vsota podpore za hipotezo (Z), m_1 označuje en vplivni dejavnik za plazenje, m_2 pa drugega, X in Y pa sta spremenljivki oziroma vrednosti vplivnih dejavnikov (prim.: *f(x)*). Če je $\sum m_1(X) \cdot m_2(Y); X \cap Y = 0$, potem se enačba glasi: $m(Z) = \sum m_1(X) \cdot m_2(Y); X \cap Y = 0$.

V programskem paketu *Idrisi* poteka izračunavanje v tako imenovanem kombinacijskem modulu *Belief*, kjer zgradimo podatkovno bazo, postavimo hipoteze in merila. Podatkovna baza vsebuje hierarhične kombinacije vseh hipotez in seznam vseh meril za posamezne hipoteze. Verjetnost posameznega dogodka temelji na merilih za posamezne hipoteze.

Končni rezultat je zemljevid, ki prikazuje možnost plazenja z vidika uporabljenih podlag ob takšnih razmerah, kot so bile takrat, ko so nastali v modelu upoštevani zemeljski plazovi. Metoda omogoča izračun, tudi če nimamo podatkov o zemeljskih plazovih za celotno območje. To je pri ugotavljanju plazovitosti z geografskimi informacijskimi sistemi običajno. Kot plazovita območja so nazadnje določena tista, ki so glede na čim večje število upoštevanih parametrov najbolj podobna območjem, na katerih je že prišlo do plazenja. Zelo pomembna je kakovost vhodnih podatkov.

V primeru konkretnega zemljevida plazovitosti (slika 1) lahko pride do plazenja, ko imajo padavine približno takšno povratno dobo, kot so jo imele leta 1998, ko so nastali zemeljski plazovi, uporabljeni pri izdelavi zemljevida. Ob drugačnih razmerah bi bila tudi stopnja plazovitosti drugačna. Verjetnost plazenja je zato v običajnih razmerah manjša, saj nanjo poleg padavin vplivajo tudi drugi dejavniki. Intenzive padavine so namreč lahko le povod za plazenje (Zorn in Komac 2002).

Na zemljevidu je plazovitost prikazana v štirinajstih kategorijah z barvno lestvico, ki sega od modre (najnižja plazovitost) prek zelene do rumene in rdeče (najvišja plazovitost). Kategorije smo določili tako, da smo frekvenčno razporeditev digitalnega zemljevida plazovitosti z vrednostmi 0–1 razporedili glede na aritmetično sredino. Razredi obsegajo po 0,1 standardnega odklona in jih je skupaj 13, štirinajsti razred pa prikazuje plazove iz leta 1998. Blizu srednje vrednosti je v sedmem razredu približno sedmina pojavov, pod njo je četrtina, nad njo pa dobra polovica pojavov. Srednji razred obsega vrednosti v razponu 0,2 standardnega odklona ($\sigma \pm 0{,}1$). Najvišje kategorije plazovitosti prikazujejo območja, za katera moremo reči, da je na njih ob nespremenjenih drugih dejavnikih (na primer raba tal) največja možnost nastanka zemeljskih plazov ob intenzivnih padavinah.

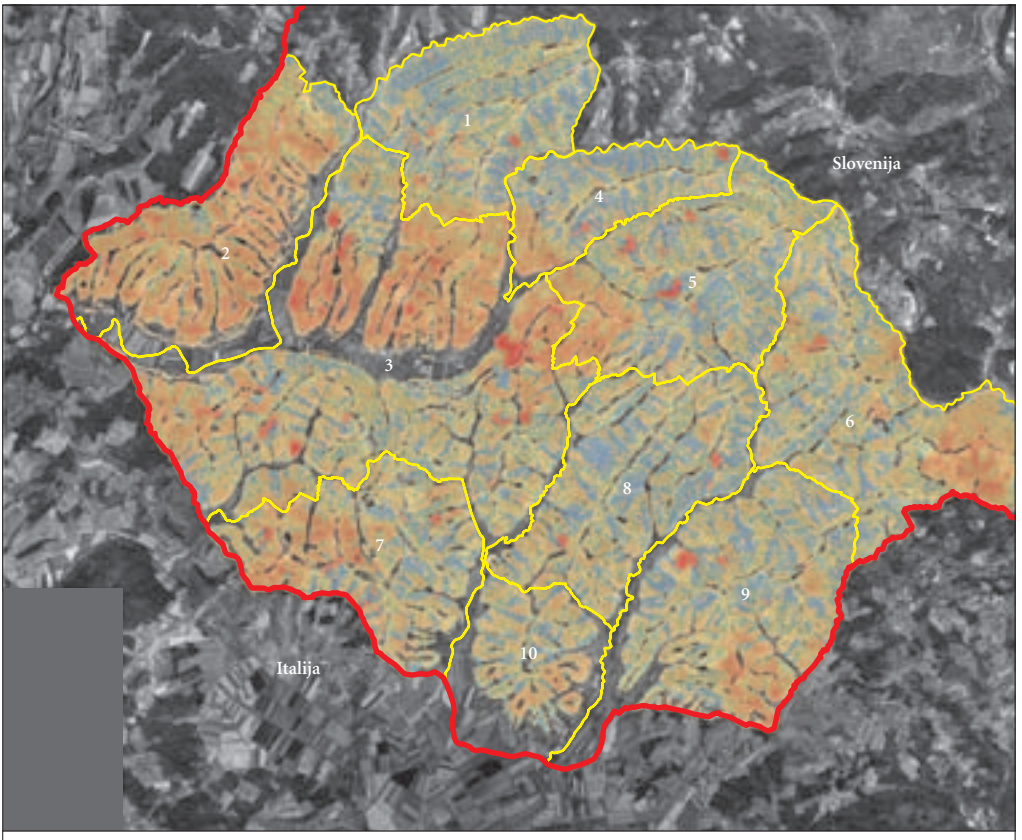
Iz navedenega izhaja, da je treba za pravilno interpretacijo zemljevida poznati metodo, po kateri je bil izdelan, ter dobre in slabe strani uporabljenih (digitalnih) podatkov, na primer digitalnega modela višin s temeljno celico 12,5 krat 12,5 metra, zemljevida rabe tal, vinogradniških teras in podobno.

3 Plazovitost in razvoj reliefa

S pomočjo zemljevida smo ugotovili, da je poglavitni vzrok za večjo plazovitost v zahodnem delu južnih Goriških brd skladnost med usmerjenostjo pobočij in vpadom kamninskih plasti. To je ugotovil že Gramščičar (1962, 8–9). Na pobočjih z razmeroma majhnim naklonom se debelina preperine hitro povečuje zaradi hitrega preperevanja fliša. Ko preseže kritično vrednost, ta pa je odvisna tudi od vsebnosti vode, gradivo splazi v nižjo lego. Plitvi zemeljski plazovi najpogosteje nastajajo na terasiranih pobočjih nekaj deset metrov pod slemeni, globoki zemeljski plazovi pa so pogosti na spodnjih delih pobočij in nastajajo zaradi bočne erozije potokov.

Geomehanske analize potrjujejo, da so najpomembnejši povod za plazenje prav obilne oziroma intenzivne padavine. Fliš vsebuje lapor, ki je slabo prepusten za vodo (Petkovšek, Klopčič in Maček 2007, 12), zato ob obilnih padavinah v preperini nastane gladina talne vode, ki obremeni pobočje. Do plazenja oziroma »… *zdrsa preperine po lapornati podlagi* …« lahko pride, ko se podzemna voda dvigne le za nekaj cm (to velja za območja, kjer je debelina preperine ali preorane prsti večja od 4 m). Pri debelini preperine 1 m pa plazenje nastopi, če se podzemna voda dvigne približno 30 cm nad podlago (Petkovšek, Klopčič in Maček 2007, 18). Plazovino namakajo zlasti tokovi vode v preperini, zelo pogosti so tudi vodni tokovi na stiku preperine in flišnih kamnin. Zato lahko kamnina tudi pod preperino prepereva mnogo hitreje, kot bi sicer. Razumljivo je, da zaradi tega na plazenje močno vplivajo izdelava teras, oranje, zlasti pa rigolanje, pri katerem se premešajo horizonti prsti, seže pa celo do matične kamnine. Pri preperevanju je čas zelo pomemben dejavnik. Daljši čas kot je kamnina izpostavljena preperevanju, debelejša bo njena plast. Zato na plazenje vpliva tudi pogostnost plazenja. Daljši čas kot je pretekel od zadnjega plazenja, večja je debelina preperine na določenem mestu in večja je možnost za nov pojav.

Čeprav je debelina za vodo prepustne preperine izjemno pomembna za plazenje, podatka o tem dejavniku ponavadi ne poznamo – pridobimo ga lahko le z vrtanjem in v prerezih. Zaradi opisanega procesa je preperina najdebelejša na slemenih (4 m in več). Na pobočjih, kjer prevladujejo denudacijsko-erozijski procesi je njena debelina manjša (do 2 m). Odvisna je predvsem od skladnosti in naklona pobočja. Leta 1998 se je skoraj polovica zemeljskih plazov sprožila pri naklonih 12–20°, četrtina pri naklonih 6–12° in šestina pri naklonih 20–32°.



Legenda:

Kategorija plazovitosti

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- območje plazenja leta 1998

Katastrska občina

1 Višnjevik
2 Neblo
3 Biljana
4 Vedrijan
5 Šmartno
6 Kojsko
7 Medana
8 Kozana
9 Cerovo
10 Vipolže

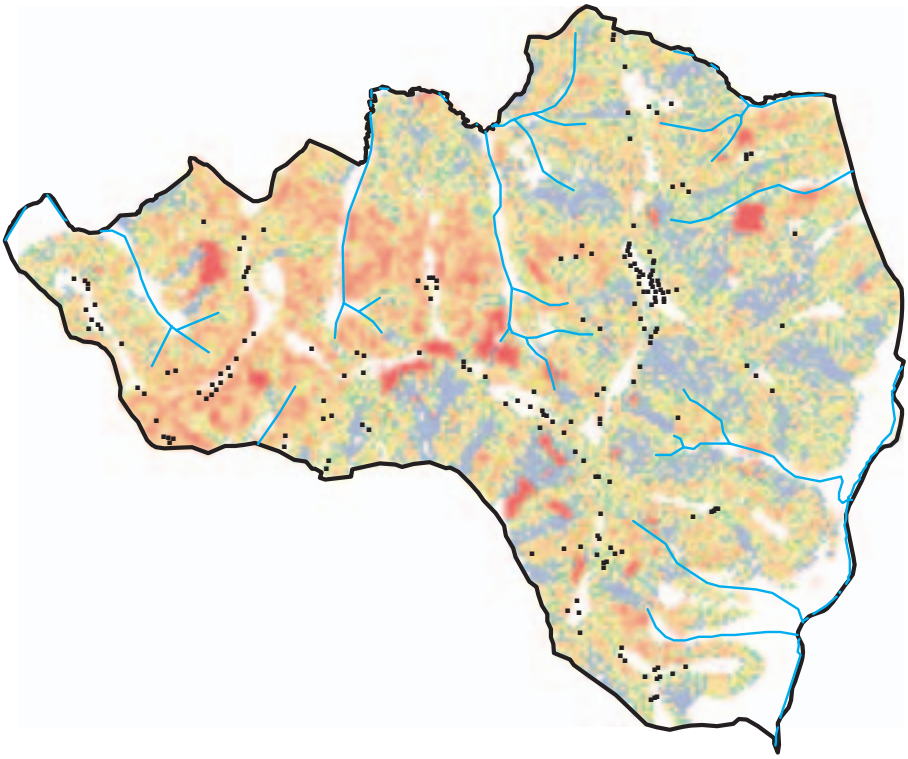
Upravna razdelitev

- meja katastrske občine
- državna meja

0 0,5 1 2 3 km

Avtor zemljevida: Matija Zorn
Avtorja vsebine: Blaž Komac, Matija Zorn
© GIAM ZRC SAZU 2007
Vir: Orto-foto, © Geodetska uprava RS 2000

Slika 1: Zemljevid plazovitosti južnih Goriških brd, izdelan s probabilistično metodo.



Legenda:

Kategorija plazovitosti

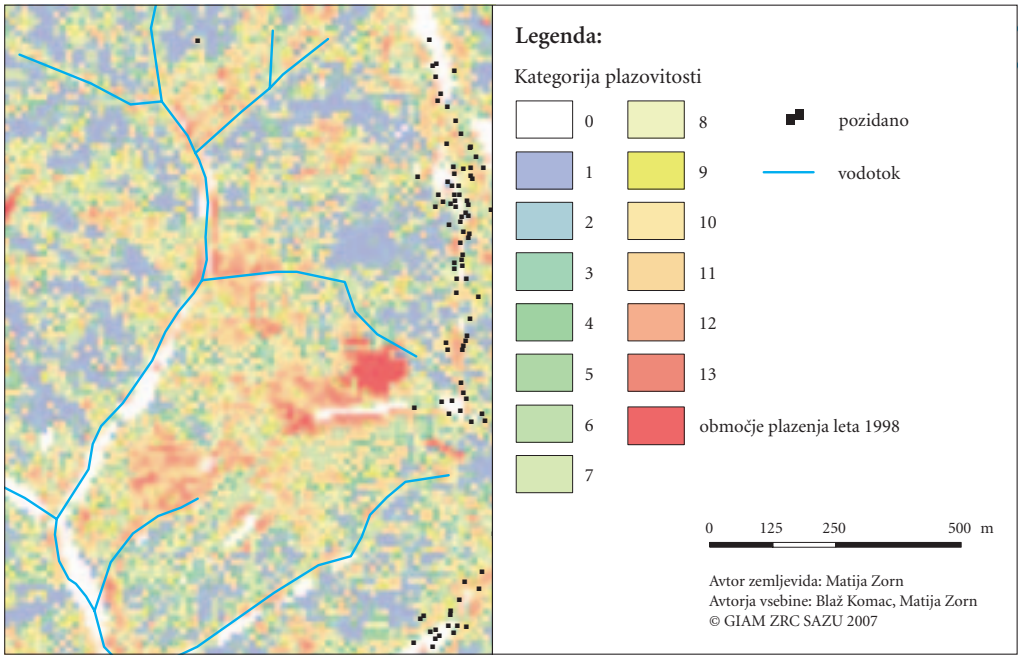
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
območje plazenja leta 1998

pozidano
vodotok
meja katastrske obcine

0 125 250 500 750 1000 m

Avtor zemljevida: Matija Zorn
Avtorja vsebine: Blaž Komac, Matija Zorn
© GIAM ZRC SAZU 2007

Slika 2: Zemljevid plazovitosti katastrske občine Medana, izdelan s probabilistično metodo.



Slika 3: Izsek iz probabilističnega zemljevida plazovitosti.

Po Petkovškovi, Klopčiču in Mačku (2007, 9) so vzrok za plazenje tudi nezveznosti oziroma šibke plasti v kamnini, vzdolž katerih kamnina hitreje razpada kot v okolici zaradi dotekanja vode in prisotnosti soli. Tudi zaradi tega lahko preperevanje seže v večjo globino, kot je običajno.

Z zemeljskimi plazovi v povirjih nastajajo značilna konveksno-konkavna pobočja. Končni rezultat preoblikovanja reliefa pa so ploska, uravnana slemena z razmeroma debelo preperino (4 m), strmi osrednji deli pobočij s plitvo preperino (< 2 m), na katerih prevladujejo erozijsko-denudacijski procesi in nastajajo zemeljski plazovi, položna in konkavna pobočja na stiku z dolinskim dnom; ali pa jih od ravnine loči oster pregib, ki je posledica bočne erozije.

Tako smo s pomočjo probabilističnega zemljevida plazovitosti izdelanega s pomočjo GIS in terenskega dela ugotovili, da so (manjši) usadi in (večji) zemeljski plazovi pomemben dejavnik pri preoblikovanju reliefa v povirnih delih dolin v flišni pokrajini Goriških brd.

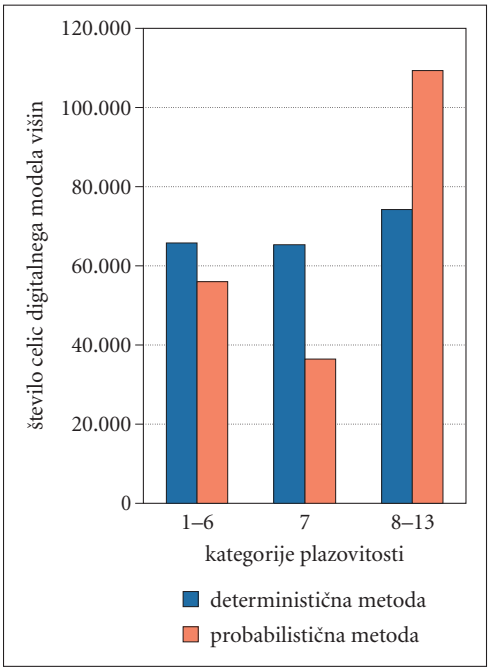
4 Uporaba zemljevida plazovitosti za ugotavljanje ogroženosti vinogradniških teras, cestnega omrežja in stavb

Za življenje velikega števila ljudi v Goriških brdih so pomembne vinogradniške terase. Zato smo ugotavljali povezanost terasiranih območij (Berčič 2007) in kategorij plazovitosti.

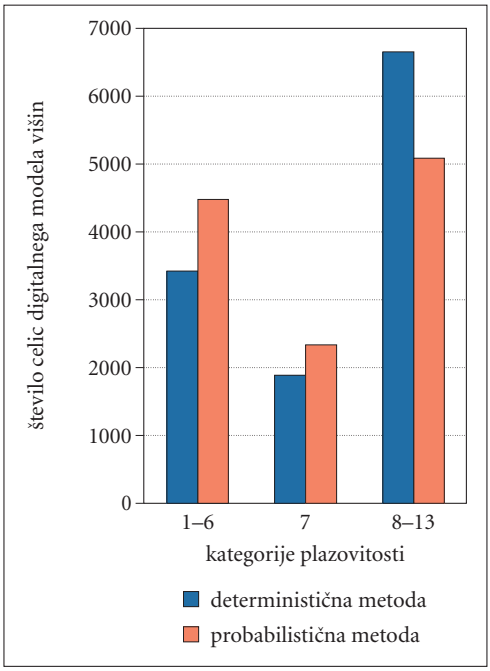
Kar polovica teras z njihovo okolico leži na nadpovprečno plazovitih območjih. Petina jih leži na območjih s povprečno plazovitostjo, nekaj manj kot tretjina pa na območjih s podpovprečno plazovitostjo.

Sliki 4 in 5 prikazujeta razmerje med plazovitostjo in oddaljenostjo določenega območja od teras.

Zaradi premeščanja preperine je kritičen zlasti čas njihove gradnje. Takrat lahko voda doseže flišno podlago. Kasneje je pomembno, kako je izdelano odvodnjavanje (Ažman Momirski in Berčič 2007).



Slika 4: Plazovitost površja v oddaljenosti pod 100 m od teras.



Slika 5: Plazovitost površja v oddaljenosti nad 100 m od teras.

Poznamo primere, ko je slabo narejeno odvodnjavanje teras povzročilo močno erozijo (Valenčič 1970, 145).

Gradnja vinogradniških teras je kljub plazenju možna, saj dobiček od prodaje kmetijskih proizvodov omogoča povrnitev stroškov za porabljeni čas (tudi do nekaj tednov letno) in delo, ki ga imajo vinogradniki z njihovim vzdrževanjem. Zemeljski plazovi so povečini vezani na intenzivne padavine, ki so (z vidika človeka) razmeroma redek pojav. Poleg tega je manjše zemeljske plazove, ki nastanejo na pobočjih v (do) nekaj metrov debeli preperini, pogosto mogoče sanirati že z ureditvijo odvodnjavanja.

Z družbenogospodarskega vidika, zlasti z vidika dostopnosti stavb, naselij in proizvodnih obratov ter kmetijskih območij je zelo pomembna ogroženost cestnega omrežja zaradi plazovitosti. Preučili smo povezanost kategorij plazovitosti in cestnega omrežja v južnem delu Goriških brd (Berčič 2005). Ceste smo po pomenu razdelili v tri razrede: glavne prometnice, krajevne prometnice in kmetijske poti. S pomočjo modeliranja smo ugotovili, da je zaradi zemeljskih plazov ogrožena tretjina glavnih cest, kar desetina (9,8 km) pa jih poteka po območjih najvišje plazovitosti. Neogroženih je 56,6 km glavnih cest. Zemeljski plazovi močno ogrožajo približno četrtino (24,1 km) krajevnih prometnic, več kot polovice (54 km) krajevnih prometnic pa zemeljski plazovi ne ogrožajo neposredno. Po plazovitih območjih sta speljani več kot dve tretjini od približno 630 km kmetijskih poti. Četrtina jih leži na območjih z visoko ogroženostjo zaradi plazenja. Približno četrtine kmetijskih poti zemeljski plazovi ne ogrožajo.

Z vidika urejanja prostora, ki je pri nas v pristojnosti občin, je zanimiva primerjava območij plazovitosti z območji poselitve (Enotna … 2002). Na celotnem območju južnih Goriških brd je poseljenih približno 50 ha površin. Približno tretjina stavb v južnih Goriških brdih leži na plazovitih območjih. Od tega jih polovica leži na območjih z veliko možnostjo nastanka zemeljskih plazov. Zemeljski plazovi malo ali nič ne ogrožajo četrtine stavb.

5 Sklep

Goriška brda so ena od slovenskih pokrajin, kjer naravne razmere omogočajo intenzivno kmetijsko proizvodnjo, številni dejavniki pa človekovo dejavnost onemogočajo. Zemeljski plazovi so v Goriških brdih stalen problem (Vrišer 1954; 1956; Grimšičar 1962).

Natančnost zemljevida smo preverili na terenu. S statistično analizo smo ugotovili, da so v južnih Goriških brdih zelo plazoviti zlasti vinogradi na severovzhodnih ali jugozahodnih skladnih pobočjih s povprečnim naklonom 20°. Zemeljski plazovi so povprečno 70 m oddaljeni od slemen. Iz kartografskih prikazov smo izločili ravna območja z naklonom pod 6°, kjer geomorfni procesi po definiciji niso pomembni za oblikovanje površja.

Za isto območje smo izdelali zemljevid plazovitosti tudi z deterministično metodo ponderiranja (Zorn in Komac 2004). Sodeč po determinističnem zemljevidu je plazovitost največja v severnem delu obravnavanega območja, kjer so tudi najvišji nakloni. Na probabilističnem zemljevidu je plazovitost največja v zahodnem delu gričevja, najmanjša pa v severovzhodnem. Ta zemljevid je bližje stanju v naravi, saj kot plazovita niso prikazana samo strma, ampak predvsem skladna pobočja, ki so zaradi debele preperine najbolj podvržena plazenju (Komac in Zorn 2007b).

Predstavljeni probabilistični zemljevid je uporaben za načrtovanje rabe prostora do ravni naselja in je dobra podlaga za detajlno geomorfološko kartiranje plazovitih območij. Z vidika kmetijskega gospodarjenja je do neke mere zaskrbljujoča ugotovitev, da je bolj ali manj plazovit pretežni del (80 %) južnih Goriških brd. Zato bi bilo treba z vidika plazovitosti zlasti kmetijsko dejavnost, ki z gradnjo vinogradniških teras povzroča nestabilnost pobočij in s tem povezane stroške sanacije (čas in denarna sredstva), dolgoročno usmeriti na območja z manjšo plazovitostjo, ki se povečini raztezajo v vzhodnem delu južnih Goriških brd. Pri gradnji teras je treba upoštevati pogostnost zemeljskih plazov pri določenih naklonih, zelo pomembna dejavnika pa sta vpad kamninskih plasti in njihova usmerjenost glede na potek pobočja (skladnost oziroma neskladnost).

Na plazovitost bi morali biti posebej pozorni tudi pri gradnji novih prometnic in stavb oziroma pri določanju poselitvenih območij ali širjenju naselij; stari deli naselij zaradi dolgotrajne poseljenosti območja v veliki meri že upoštevajo naravne razmere.

6 Viri in literatura

Ažman Momirski, L., Berčič, T. 2007: Priporočila za izdelavo teras: primer obnove vinograda v Goriških brdih. Fakulteta za arhitekturo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.

Ažman Momirski, L., Kladnik, D., Komac, B., Petek, F., Repolusk, P., Zorn, M. 2008: Terasirana pokrajina Goriških brd. Geografija Slovenije 17. Ljubljana.

Berčič, T. 2005: Zemljevid prometnic v Goriških brdih. Digitalna podatkovna baza. Fakulteta za arhitekturo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.

Berčič, T. 2007: Zemljevid vinogradniških teras in cest v Goriških brdih. Digitalna podatkovna baza. Fakulteta za arhitekturo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.

Binaghi, E., Luzi, L., Madella, P., Pergalani, F., Rampini, A., 1998. Slope Instability Zonation: a Comparison Between Certainty Factor and Fuzzy Dempster-Shafer Approaches. Natural Hazards 17-1. Dordrecht.

Carrara, A. 1983: Multivariate models for landslide hazard evaluation. Mathematical Geology 15-3. New York.

Carrara, A., Pike, R. J. 2008: GIS technology and models for assessing landslide hazard and risk. Geomorphology 94, 3–4. Amsterdam.

Damm, B., Varga, K. 2006: Approaches in Spatial Landslide Hazard Modelling in Germany – An Example from the Triassic New Red Sandstone Areas of Northern Hesse and Southern Lower Saxony. Geophysical Research Abstracts 8. Katlenburg-Lindau.

Dempster, A. P. 1968: A generalization of Bayesian inference. Journal of the Royal Statistical Society B30. Medmrežje: http://www.glennshafer.com/assets/downloads/articles/article48.pdf (13. 7. 2006).
Enotna evidenca hišnih številk. 2002. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana.
Gorsevski, P. V., Jankowski, P., Gessler, P. E. 2005: Spatial Prediction of Landslide Hazard Using Fuzzy k-means and Dempster-Shafer Theory. Transactions in GIS 9-4. Cambridge.
Grimšičar, A. 1962: Inženirsko-geološke razmere v Goriških brdih. Geološke razmere v Goriških Brdih. Ljubljana.
Komac, B., Zorn, M. 2005: Zemljevid ogroženosti Zgornje Savinjske doline zaradi zemeljskih plazov in skalnih podorov. Ujma 19. Ljubljana.
Komac, B., Zorn, M. 2007a: Pobočni procesi in človek. Geografija Slovenije 15. Ljubljana.
Komac, B., Zorn, M. 2007b: Modeliranje naravnih procesov na primeru zemeljskih plazov. Dela 28. Ljubljana.
Komac, M. 2004: Napoved ogroženosti prebivalstva zaradi plazov na območju osrednje Slovenije. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2003–2004. Ljubljana.
Komac, M. 2005: Napoved verjetnosti pojavljanja plazov z analizo satelitskih in drugih prostorskih podatkov. Ljubljana.
Komac, M. 2006: Potencialno plazovita območja v Sloveniji in izpostavljenost človekovega okolja. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2005–2006. Ljubljana.
Lindsay, J. B. 2005: The Terrain Analysis System: A tool for hydro-geomorphic applications. Hydrological Processes 19-5. Chichester.
Natek, K., Komac, B., Zorn, M. 2003: Mass movements in the Julian Alps (Slovenia) in the aftermath of the Easter earthquake on April 12, 1998. Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica 37. Krakov.
Petkovšek, A., Klopčič, J., Maček, M. 2007: Terase Goriških brd. Geotehnična obravnava obnove vinograda na flišnem pobočju – vzorčni primer »Medana«. Katedra za mehaniko tal z laboratorijem Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
Shafer, G. 1990: Perspectives on the theory and practice of belief functions. International Journal of Approximate Reasoning 3. Medmrežje: http://www.glennshafer.com/assets/downloads/articles/article48.pdf (13. 7. 2006).
Valenčič, V. 1970: Vrste zemljišč. Gospodarska in družbena zgodovina Slovencev: Zgodovina agrarnih panog 1. Ljubljana.
van Westen, C. J. 1994: GIS in landslide hazard zonation: a review, with examples from the Andes of Colombia. Mountain Environments and Geographic Information Systems. London.
van Westen, C. J. 2000: The modelling of landslide hazard using GIS. Surveys in Geophysics 23, 12-3. Dordrecht.
Vrišer, I. 1954: Goriška brda. Geografski zbornik 2. Ljubljana.
Vrišer, I. 1956: Morfološki razvoj v Goriških brdih. Geografski zbornik 4. Ljubljana.
Zorn, M., Komac, B. 2002: Pobočni procesi in drobirski tok v Logu pod Mangartom. Geografski vestnik 74-1. Ljubljana.
Zorn, M., Komac, B. 2004: Deterministic modeling of landslide and rockfall risk. Acta geographica Slovenica 44-2. Ljubljana.
Zorn, M., Komac, B. 2005: Geografska analiza naravnih nesreč v domači pokrajini – primer zemeljskih plazov. Geografija v šoli 15-3. Ljubljana.
Zorn, M., Komac, B. 2007: Probability modelling of landslide hazard. Acta geographica Slovenica 47-2. Ljubljana.

PRIMERJAVA UPORABE METODOLOGIJE PSINSAR IN DINSAR ZA OPAZOVANJE PREMIKOV POVRŠJA – PRIMER SEVEROZAHODNE SLOVENIJE

dr. Krištof Oštir
Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU
kristof@zrc-sazu.si

dr. Marko Komac
Geološki zavod Slovenije
marko.komac@geo-zs.si

UDK: 528.88:551.4(497.4)
528.93(497.4)
COBISS: 1.16

IZVLEČEK

Primerjava uporabe metodologije PSInSAR in DInSAR za opazovanje premikov površja – primer severozahodne Slovenije

Radarska interferometrija (InSAR) je metoda, ki se uporablja pri izdelavi digitalnih modelov višin. Zelo uporabni sta tudi njeni nadgradnji, namenjeni opazovanju premikov tal – diferencialna interferometrija (DInSAR) in metoda permanenthih sipalcev (PSInSAR). Z obema navedenima so bili določeni premiki, nastali ob potresu v Posočju, 12. 4. 1998. Opravljena je bila tudi njuna primerjava, ocenjene os bile prednosti in pomanjkljivosti. DInSAR daje ploskovne rezultate, PSInSAR pa točkovne, a omogoča daljše časovno opazovanje. Omejitve slednje so zapletena interpretacija, neuporabnost metode za opazovanje poraščenih območij in za opazovanje hitrih deformacij.

KLJUČNE BESEDE
radarski satelitski posnetki, permanentni sipalci, deformacije površja, diferencialna interferometrija, InSAR

ABSTRACT

Comparison of PSInSAR and DInSAR methods for the purpose of surface deformation detection – a case of northwest Slovenia

Radar interferometry (InSAR) has become an important tool in producing accurate digital elevation models. Its upgrades used to observe small surface deformation or displacements, differential interferometry (DInSAR) and permanent scatterers interferometry (PSInSAR), are very useful for temporal surface deformation observations. They were used to observe co-seismic displacements related to Posočje earthquake, which happened on April 12, 1998. A comparison of both methods was performed. Although complementary each method has its advantages and disadvantages. DInSAR enables surface observation, while PSInSAR enables only point observation, but can in the same time provide temporal series of point displacements. Limitations of PSInSAR are complex interpretation, inability to observe vegetated areas and quick deformation observation.

KEY WORDS
radar satellite images, permanent scatterers, surface deformation, differential interferometry, InSAR

1 Uvod

Radarska interferometrija (InSAR) je tehnika, s katero lahko iz parov radarskih satelitskih in letalskih posnetkov pridobivamo visokoločljive podatke o zemeljskem površju. Najpomembnejši področji njene uporabe sta izdelava digitalnih modelov višin in opazovanje majhnih premikov, še posebej na območjih, ki so s »klasičnimi« metodami slabo izmerjena. Natančnost, ki jo pri izdelavi modelov višin dosežemo, je približno deset metrov v vodoravni (položaj) in nekaj metrov v navpični (višina) smeri. Zelo uporabni sta tudi diferencialna interferometrija, s katero lahko opazujemo premike tal velikostnega reda valovne dolžine uporabljenega radarskega valovanja, kar znaša pri satelitih ERS približno pol centimetra (Oštir 2000; Oštir 2006), ter interferometrija permanentnih sipalcev, s katero opazujemo časovne nize sprememb odbojnikov radarskega signala (Ferretti s sodelavci 2001; Oštir in Komac, 2007).

Pri interferometriji uporabljamo kompleksne radarske satelitske posnetke, ki poleg podatkov o amplitudi odboja na površju vsebujejo tudi fazo odbitega valovanja. Faza je odvisna od lastnosti opazovane površine in od dolžine poti med oddajno anteno, opazovano površino in sprejemno anteno. V primeru dveh posnetkov istega območja, posneta iz rahlo premaknjenih tirnic, lahko z upoštevanjem geometrije gledanja določimo zvezo med interferogramom – fazno razliko obeh podob – in višinami na površju. Pri tem je treba zadostiti zahtevam za interferometrično obdelavo podob.

Podobno lahko pri diferencialni interferometriji (DInSAR) z uporabo treh podob določamo majhne relativne premike. Iz treh podob ustvarimo dva interferograma in z njuno primerjavo diferencialni interferogram. Ta je od nič različen samo v primeru, če se je med zajetjem podob znatno spremenila fazna odbojnost oziroma se je premaknilo opazovano površje. Prvi faktor predstavlja motnjo in se mu skušamo izogniti, drugi pa omogoča natančno določanje premikov (Oštir 2000; Hanssen 2005).

Nadgradnja diferencialne interferometrije je tehnika, ki uporablja permanentne sipalce (angleško *permanent scatterers* InSAR ali PSInSAR), to je točke, ki jih zlahka najdemo na več posnetkih in ki ne spreminjajo svojih lastnosti (Ferretti s sodelavci 2001). S tem se izognemo tako imenovani časovni dekorelaciji in lahko opazujemo premike v več zaporednih letih. Žal pa pri tem izgubimo zveznost, saj so tovrstni sipalci točkasti, njihova gostota pa je odvisna od oblike in pokrovnosti površja. Dokaj enostavno jih namreč najdemo v urbanih in skalnatih območjih, veliko teže pa na območjih, prekritih z vegetacijo.

2 Diferencialna radarska interferometrija

Radarska interferometrija je tehnika, ki se je v zadnjih nekaj letih uveljavila v najrazličnejših študijah, predvsem za opazovanje topografije in opazovanje premikov zemeljskega površja. Opazovanje zemeljske topografije z interferometrijo lahko poteka na dva načina, in sicer v enem preletu in v dveh preletih. V prvem primeru imamo na enem samem nosilnem sistemu (letalo ali satelit) nameščeni dve anteni, od katerih ena oddaja mikrovalove, ki jih nato sprejemata obe. Pri drugem primeru – praviloma gre za satelite – pa isti ali podoben sistem v dveh različnih časovnih obdobjih preleti isto površino in jo torej posname iz rahlo premaknjenih tirnic (Oštir 1998; Oštir 2000; Oštir 2006). Natančnost, ki jo pri izdelavi digitalnih modelov višin lahko dosežemo, znaša nekaj metrov. Z diferencialno interferometrijo, opazujemo pare interferogramov in primerjamo koherentne premike, ki obsegajo več sosednjih pikslov. Metodologija je zaradi valovne dolžine signala uporabna za premike, ki so v času med dvema snemanjema v smeri potovanja signala manjši od polovice valovne dolžine valovanja. Pri satelitih ERS, katerih podobe najpogosteje uporabljamo, gre za velikostni red centimetra v obdobju 35 dni. Glavni razlog za tako veliko natančnost je dejstvo, da gledamo neposredno razlike interferogramov in z zelo veliko natančnostjo določimo spremembe položajev sipalcev na površju.

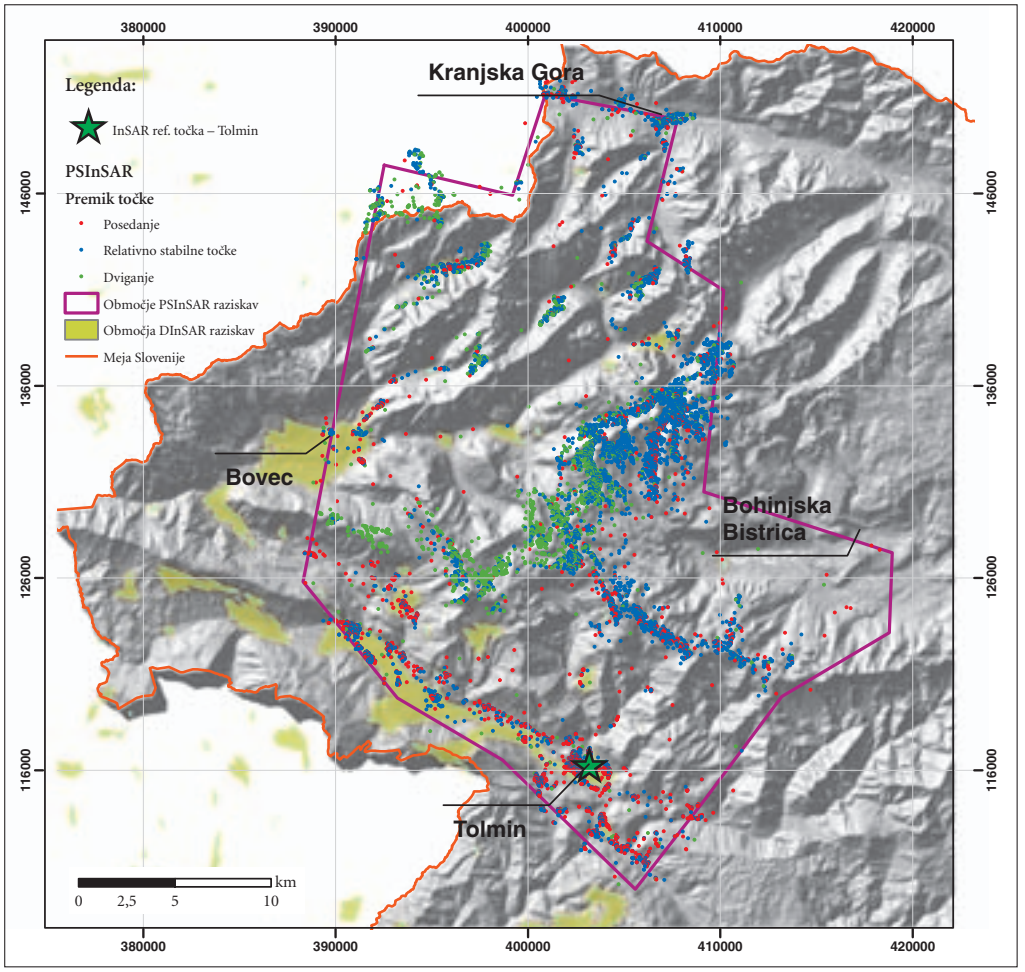
Meritev premikov zemeljskega površja z radarsko interferometrijo je odvisna od njihove narave. Natančni pogoji pod katerimi tehnika daje rezultate so še vedno predmet raziskav, zato navedimo le najbolj osnovna (Oštir 2000):

- spremembe med zajetjem podob in gradient znotraj piksla ne smejo biti prevelike,
- položaj sipalcev znotraj opazovane resolucijske celice se ne sme spremeniti za več kot 10 do 20 % valovne dolžine uporabljenega mikrovalovanja (čimbolj enako radarsko sipanje znotraj piksla).

Prvi pogoj praviloma ne predstavlja velike težave. Precej bolj problematičen pa je drugi pogoj. Kadar ni izpolnjen, govorimo o »časovni dekorelaciji«. Principi diferencialne interferometrije so podrobneje opisani v Oštir (2000) in Gens in van Genderen (1996).

3 Primerjava DInSAR in PSInSAR

Največja omejitev diferencialne radarske interferometrije (DInSAR) pri opazovanju premikov površja je izguba koherence, to je fazne povezave med posnetki s sodelavci 2001 in 2006). Problem je še posebej problematičen v območjih, ki so prekrita z vegetacijo oziroma kjer razgibanost površja povzroča pojav



Slika 1: Območje DInSAR in PSInSAR analiz. Na svetlo zeleno senčenih območjih je možno razvijanje faze za DInSAR analize. Območje analiz točkovnih PSInSAR podatkov je označeno z vijolično barvo.

senc. V opazovanem območju severozahodne Slovenije je zaradi časovne in geometrične dekorelacije posnetkov opazovanje tako rekoč nemogoče že med zaporednimi posnetki. Opazovanja v več časovnih obdobjih je mogoče dobiti le za manjše dele nepovezanega površja (svetlo zeleno senčena območja na sliki 1).

Težavo lahko skoraj v celoti odpravimo s posebno metodo obdelave, pri kateri opazujemo samo permanentne sipalce (PS, točke znotraj vijolično označenega območja na sliki 1). PS so predmeti, opazni na satelitskih radarskih posnetkih, katerih lastnosti se v daljšem časovnem obdobju praktično ne spreminjajo (Ferretti s sodelavci 2001 in 2005). Z metodo PSInSAR lahko najboljše rezultate dobimo v poseljenih območjih in območjih golih skal, ter povsod, kjer je mogoče opaziti objekte, katerih odboj se s časom ne spreminja (Ferretti s sodelavci 2001; Dixon s sodelavci 2006; Bürgmann s sodelavci 2006). Premiki se dejansko določijo relativno glede na referenčno točko znotraj opazovanega območja. Pri tem gre praviloma za dobro izmerjeno geodetsko točko, za katero se oceni, da ni podvržena večjim premikom. Za območje opazovanj je bila na podlagi geoloških opazovanj referenčna točka postavljena v bližino Tolmina (Komac in Bavec 2007).

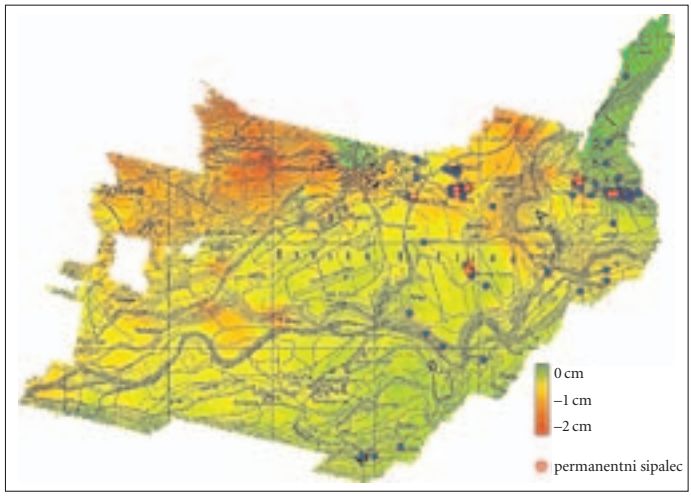
PS so lahko naravni (objekti) ali umetni (kovinski odbojniki) (Ferretti s sodelavci 2001). Slednji so zaznavni in koherentni v daljšem časovnem obdobju, lahko z njimi opazujemo premike velikostnega reda milimetra v daljšem časovnem obdobju. Metoda PSInSAR analizira območje velikosti več tisoč kvadratnih kilometrov in z iskanjem sipalcev ustvari neke vrste »naravno geodetsko mrežo«, prek katere lahko določa površinske deformacije in stabilnost posameznih objektov. S tehniko je mogoče določiti geografske koordinate sipalcev, ponavadi geografsko širino in dolžino v referenčnem sistemu WGS 84, ter stopnjo premikov z natančnostjo do 0,1 mm/leto. Mogoče je opazovati »zgodovino« premikov posameznega sipalca, in sicer z natančnostjo okrog 1 mm za vsako meritev (Ferretti s sodelavci 2001 in 2005).

Meritve dobijo še posebno vrednost, če jih povežemo z drugimi podatki. Največja slabost PSInSAR v primerjavi z DInSAR je nezveznost meritev, saj imamo v prvem primeru opraviti s točkami, v drugem pa s ploskvami. Po drugi strani pa zaradi dekorelacije meritve z običajno diferencialno interferometrijo najpogosteje v daljšem časovnem obdobju sploh niso mogoče. PSInSAR je poleg tega precej bolj natančna, odpravi neželene vplive atmosfere in je manj občutljiva na geometrijo zajetja podob. Za uspešno izvedbo potrebuje PSInSAR med 15 in 20 posnetkov, medtem ko DInSAR zahteva samo 2 (Ferretti s sodelavci 2001).

4 Analiza opazovanja zahodne Slovenije

V študiji smo metodo DInSAR uporabili na območju severozahodne Slovenije, in sicer za opazovanje koseizmičnih premikov ob potresu v Posočju. Omenjeno območje je 12. aprila 1998, ob 12:55 minut po lokalnem času, prizadel eden najhujših potresov z nadžariščem v Sloveniji v tem stoletju. Potres je nastal v Krnskem pogorju, v točki z zemljepisnimi koordinatami 46,309ø severne širine in 13,632ø vzhodne dolžine, na globini 7,6 km. Njegova lokalna magnituda, izračunana iz štirih zapisov opazovalnic državne mreže, je bila $M_{LV} = 5{,}6$. Intenziteta potresa je bila v širšem nadžariščnem območju sedme do osme stopnje po evropski potresni lestvici EMS-98 (Gosar s sodelavci 1999). Zaradi zapletene geološke zgradbe sodi obravnavano območje med seizmično bolj aktivna območja Slovenije (Komac in Bavec 2007a).

Z interferometričnim opazovanjem Posočja smo poskušali odkriti morebitne koseizmične premike in posedanje površja. Pri opazovanju premikov smo bili močno omejeni z izbiro primernih podob satelitov ERS, saj je bilo le stežka mogoče dobiti uporabne interferograme (Oštir 2000). Najboljše rezultate smo dobili z uporabo zunanjega modela višin in kombinacijami podob, nastalih 20. 3. 1998 (prva podoba), 24. 4. 1998 (druga) in 29. 5. 1998 (tretja) – torej pred in po potresu. Trojica modelov višin je omogočila kontrolno združevanje, vendar je bilo zaradi »neidealnega« letnega časa nemalo težav z obdelavo interferogramov. Tretja podoba je bila namreč posneta konec maja, ko je vegetacija že zelo razvita,



Slika 2: Položaj PS v območju analize z DInSAR. Podrobnejša primerjava DInSAR in PSInSAR je bila opravljena za sipalce z znano zgodovino premikov, ki so prikazani v rdeči barvi. PS, pri katerih je podana povprečna vrednost premikov, so prikazani z modro barvo.

medtem ko sta prvi dve nastali pred obdobjem intenzivne rasti. Koherenca prvega interferograma (I_{12}) je kljub razgibanemu terenu precej visoka, pri drugih dveh (I_{13} in I_{23}) pa zelo nizka (Oštir 2000).

Za pridobitev končnega modela premikov je bila uporabljena tehnika kontrolnega združevanja, kjer je v uteženem povprečju v glavnem prispeval prvi interferogram. Rezultat združevanja za premike ob potresu v Posočju prikazuje majhne navpične premike tal, zaznane v Bovški kotlini (slika 2). Z radarsko interferometrijo je mogoče napovedati, da je površje na južni strani Soče dokaj stabilno, saj lahko približno 1 cm velike premike opazimo le v bližini Čezsoče. Precej bolj razgibano je dogajanje na severni strani reke, kjer poleg nekaterih »mirnih« površin, predvsem okrog športnega letališča, opazimo tudi območja z znatnim premikom. Največji zaznani premiki znašajo prek 2 cm, opazimo pa jih lahko v delih Bovca, v okolici Kaninske vasi, v Rakovnici in jugozahodno od letališča (V brezju). Največji premik, pri katerem je verjetno prišlo tako do posedanja kot tudi do drsenja je opazen v razmeroma strmem delu zahodno od Kaninske vasi (Zavrzelino). Boljši vpogled v geodinamiko območja potresa bi dobili z analizo večjega območja, vedar zaradi zelo razgibanega površja uporaba radarske interferometrije na širšem Posočju ni bila mogoča (Oštir 2000).

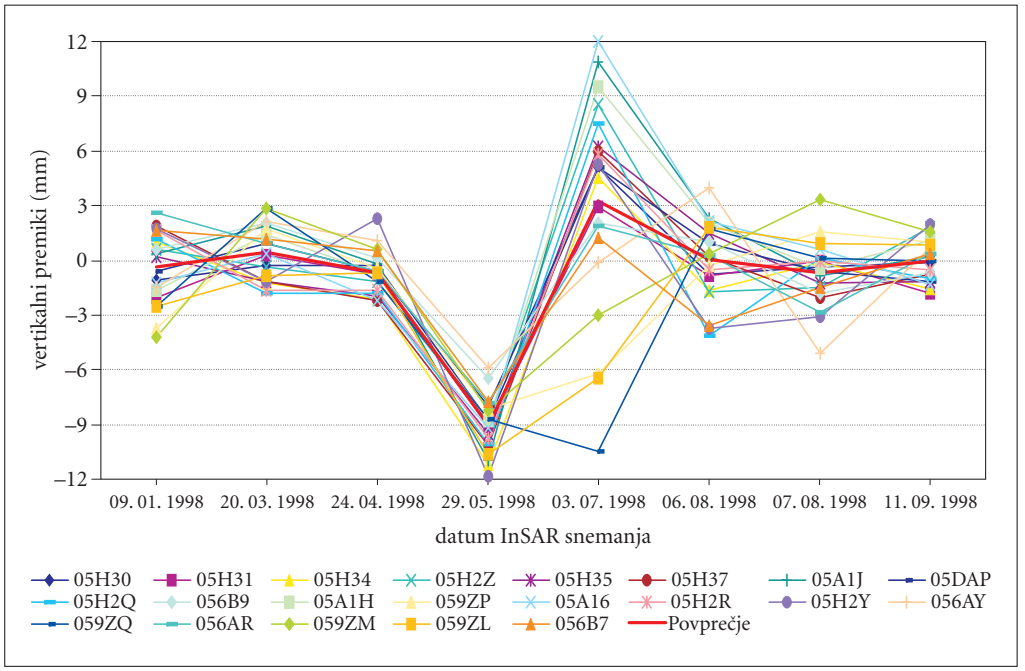
Neposredna primerjava interferometričnih izsledkov s »klasičnimi« geodetskimi meritvami ni možna, ker omenjeno območje pred potresom ni bilo podrobneje opazovano. Geološki zavod Slovenije je v okviru projekta Climate Change, Impacts and Adaptation Strategies in the Alpine Space izvedel obsežno analizo s tehniko PSInSAR (Komac 2006; Komac in Bavec 2007a; Oštir in Komac 2007). Kot že omenjeno, daje tehnika PSInSAR točkovne meritve, omogoča pa daljšo časovno primerjavo. Za potrebe analiz v zahodni Sloveniji je bilo uporabljenih 57 podob, pridobljenih s satelitov ERS-1 in ERS-2 v obdobju med letoma 1992 in 2000. Povprečna gostota PS na opazovanem območju je 23/km^2. Povprečni letni premiki so bili izračunani za vseh 16.304 permenetnih sipalcev, katerih koherenca je večja od 0,5. Z metodo PSInSAR je mogoče opazovati dviganje predela Julijskih Alp z natančnostjo do 0,1 mm/leto, zelo uporabna pa je tudi za opazovanje počasnejših premikanj pobočnih mas predvsem globokih plazov in območij plazov večjih dimenzij (Komac in Bavec 2007b), posedanja cest, mostov ter potencialno tudi manjših linijskih infrastrukturnih objektov.

Na sliki 3 so prikazani PS, za katere so v nadaljevanju analizirana premikanja ob potresu v zgornjem Posočju, dne 12. aprila 1998 (povzeto po Komac in Bavec 2007a). Časovni potek premikov PS na območju, ki ga pokrivajo podatki, pridobljeni z obema metodama (slika 3), kaže na opazno premikanje podlage Bovške kotline ob potresu in na popotresno uravnavanje površja (slika 4). Dobro opazni premiki površja v vzhodnem delu Bovške kotline so se zgodili z manjšim časovnim zamikom glede na

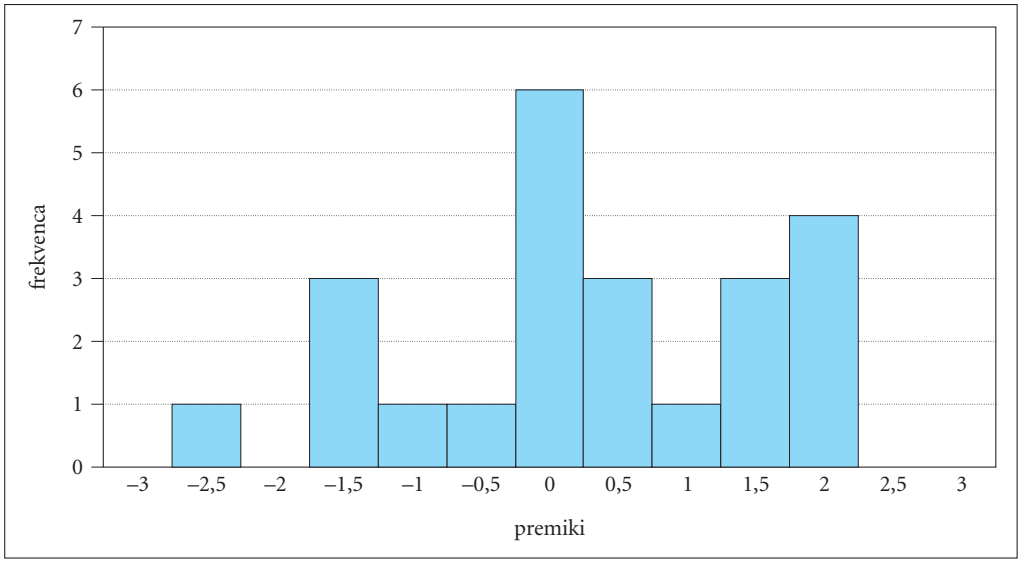
Slika 3: PS se večinoma nahajajo na umetnih objektih, redko pa tudi na skalah ali golih tleh. Podlaga na sliki je digitalni ortofoto v merilu 1 : 5.000 (vir: DOF 5, 1999–2004, © Geodetska uprava Republike Slovenije).

potres in so na PSInSAR podatkih opazni šele v obdobju med 24. 4. in 29. 5. 1998, torej z zamikom dveh do desetih tednov. Povprečni relativni vertikalni posedek 21 PS zaradi potresa je bil, glede na njihovo stanje (torej ne glede na stanje referenčne točke) na 24. 4. 1998 –8,4 mm. Temu posedanju je sledilo dviganje, v povprečju za 12,3 mm glede na stanje na 29. 5. 1998, v naslednjih obdobjih snemanja SAR podatkov pa so se povprečni relativni premiki umirili. Relativni premiki glede na referenčno točko v Tolminu so identični, a imajo drugače izražene vrednosti. S slike 4 je možno jasno razbrati »nihanje« površja med aprilom in avgustom 1998, ki bi lahko bilo posledica postopnega in zato časovno nekoliko zamaknjenega popotresnega uravnavanja površja.

Zaradi slabe koherence podob, ki so bile uporabljene v analizah DInSAR, je primerjava obeh tehnik možna le na območju Bovca in okolice (slika 2), kjer se nahaja 123 PS s povprečno koherenco 0,62 in največjo 0,92. Analiza premikov s PSInSAR je pokazala, da se 43 sipalcev dviguje in 80 spušča, pri



Slika 4: Grafični prikaz relativnih vertikalnih komponent premikov v vzhodnem delu Bovške kotline glede na referenčno točko. Lokacije PS so prikazane na Sliki 8. Premiki PS so podani v mm. Vse vrednosti so projicirane na navpičnico in predstavljajo vertikalne komponente relativnih premikov. Prikaz se nanaša le na obdobje med januarjem in septembrom 1998, torej nekaj mesecev pred in nekaj mesecev po potresu v zgornjem Posočju na dan 12. 4. 1998 (Komac in Bavec 2007a).



Slika 5: Razlika med premiki določeni z DInSAR in PSInSAR.

čemer so premiki velikosti od približno –9 mm/leto do približno 6 mm na leto. Ugotovimo lahko, da se bovška kotlina v povprečju poseda z hitrostjo –0,41 mm/leto.

Meritve DInSAR pokrivajo krajše časovno obdobje, v katerem pa je predvidoma prišlo do znatnih trenutnih premikov. Koherenca posnetkov je zelo nizka, saj je celo za izbrano območje v povprečju le 0,25 in le v redkih točkah presega 0,5, kar je pogoj za analizo PS. Podobno kot meritve PSInSAR so tudi DInSAR relativne, kar pomeni, da moramo premike primerjati z referenčno točko. Podrobnejša analiza je bila opravljena z opazovanjem 23 PS, ki se večinoma nahajajo v naseljih (slika 2). Primerjava koherence pokaže, da je ta visoka tako pri DInSAR (povprečje 0,56) kot PSInSAR (0,81). Obe metodi dasta skoraj natanko enak povprečni premik, ki znaša –0,50 mm za DInSAR in –0,56 mm za PSInSAR, razpršenost pa je nekoliko večja pri PSInSAR (standardna deviacija je 1,34 mm v primerjavi z 0,66 mm pri DInSAR, Slika 5). Sklepamo lahko, da so meritve z obema tehnikama dobre, za enkraten dogodek, kot je bil potres, pa dobimo z metodo DInSAR zaradi zveznosti bolj jasno sliko. In to kljub dejstvu, da je koherenca v večjem delu dokaj nizka. Obenem pa metoda PSInSAR omogoča časovno razumevanje deformacij površja na posameznih opazovanih točkah.

5 Sklep

Radarska interferometrija se je v zadnjih letih uveljavila kot nepogrešljivo orodje v številnih študijah. Z njo lahko izdelujemo natančne modele višin in opazujemo zelo majhne premike zemeljskega površja. Z diferencialno metodo lahko opazujemo površinske premike velikosti dela valovne dolžine, kar pri satelitih ERS znaša približno pol centimetra. Interferometrija zaradi velikega števila radarskih – satelitskih in letalskih – sistemov omogoča dobro časovno in prostorsko pokritost, poleg tega pa zaradi ugodnih lastnosti mikrovalov daje natančne rezultate.

V predstavljeni študiji so bili s tremi podobami območja Posočja in uporabo zunanjega modela višin ustvarjeni trije diferencialni interferogrami. Z upoštevanjem dejstva, da so modeli, dobljeni iz različnih interferogramov, odvisni, smo določili premike, nastale ob potresu v zgornjem Posočju, 12. aprila 1998. Interferometrija je pokazala, da se je okolica Bovca v povprečju posedla za 0,5 cm, največji opaženi premiki pa znašajo več kot 2 cm. Za posamezne permanentne sipalce so bile časovno analizirane ko-seizmične deformacije površja, nastale ob potresu, 12. aprila 1998.

Opravljena je bila tudi analiza in primerjava metod DInSAR in PSInSAR. Pokazalo se je, da so premiki enakega velikostnega reda, je pa tehniki kljub temu med seboj težko primerjati. DInSAR namreč daje ploskovne rezultate, PSInSAR pa točkovne, vendar omogoča daljše časovno opazovanje, kar je še posebej pomembno v območjih pokritih z vegetacijo, kjer dekorelacija onemogoča uporabo tehnike DInSAR. PSInSAR predstavlja odlično alternativo tudi klasičnim geodetskih tehnikam, saj jih v mogočem prekaša. Glavna prednost pred slednjimi je velika gostota merskih točk, dolgo časovno opazovanje ter možnost opazovanja brez predhodne namestitve instrumentov. V študiji severozahodnega dela Slovenije je bilo mogoče opazovati več kot 20 točk na kvadratni kilometer v obdobju skoraj deset let z natančnostjo desetine milimetra.

Tehnika PSInSAR se je izkazala za izredno učinkovito in lahko trdimo, da je (razen za opazovanje urbanega okolja) primernejša od klasične DInSAR. Njene največje slabosti so zapletenejša analiza oziroma interpretacija, potreba po dodatnem prostorskem modeliranju, če želimo zvezni model (kjer lahko pride do pomena kombinacija z DInSAR), ter patentna zaščita postopka obdelave.

6 Viri in literatura

Bürgmann, R., Hilley, G., Ferretti, A., Novali, F. 2006: Resolving vertical tectonics in the San Francisco Bay Area from permanent scatterer InSAR and GPS analysis. Geology 34 (3): 221–224.

Dixon, H. T., Amelung, F., Ferretti, A., Novali, F., Rocca, F., Dokka, R., Sella, G., Kim, S. W., Wdowinski, S., Whitman, D. 2006: Subsidence and flooding in New Orleans. Nature 441 (junij 2006): 587–588.

Ferretti, A., Bianchi, M., Prati, C., Rocca, F. 2005: Higher-Order Permanent Scatterers Analysis. EURASIP Journal on Applied Signal Processing 20: 3231–3242.

Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F. 2001: Permanent Scatterers in SAR Interferometry. IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing 39 (1): 8–20.

Gosar, A., Živčić, M., I. Cečić, I., Zupančič P. 1999: Seizmološke značilnosti potresa 12. aprila 1998. Ujma 13: 57–65.

Hanssen, R. F. 2005: Satellite radar interferometry for deformation monitoring: a priori assessment of feasibility and accuracy. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 6: 253–260.

Hanssen, R. F., Ferretti, A. 2002: Deformation Monitoring by Satellite Interferometry. GIM International 16 (9): 52–57.

Komac, M. 2006. Za koliko se dvigajo Julijske Alpe? Delo 24. 8. 2006, priloga Znanost: 20.

Komac, M., Bavec, M. 2007a: Opazovanje vertikalne komponente recentnih premikov v Julijskih Alpah s PSInSAR metodo. Geologija 50 (1): 97–110.

Komac, M., Bavec, M. 2007b: Detection of mass movements in Alpine Slovenia using PSInSAR data. 32nd International Symposium on Remote Sensing of Environment, San José, 25–29 June 2007, Sustainable development through global earth observations. San José.

Oštir, K. 1998: Izdelava modela višin z radarsko interferometrijo. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1997–1998. Ljubljana.

Oštir, K. 2000: Analiza vpliva združevanja radarskih interferogramov na natančnost modelov višin in premikov zemeljskega površja. Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani. Ljubljana.

Oštir, K. 2006: Daljinsko zaznavanje. Ljubljana.

Oštir, K., Komac, M. 2007: PSInSAR and DInSAR methodology comparison and their applicability in the field of surface deformations – A case of NW Slovenia. Geologija, 50 (1): 77–96.

TRE. 2006. TRE – Tele-Rilevamento Europa, www.treuropa.com.

Vir prostorskih podatkov: © 1999–2004 Geodetska uprava Republike Slovenije.

POSKUS ANALIZE POTENCIALNO NEVARNIH VRŠAJEV Z DMR-JEM

dr. Tomaž Podobnikar
Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU
Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, Vienna University of Technology, Dunaj, Avstrija
tp@zrc-sazu.si

dr. Balázs Székely
Department of Geophysics and Space Science, Eötvös University, Budimpešta, Madžarska
Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, Vienna University of Technology, Dunaj, Avstrija
bz@ipf.tuwien.ac.at

UDK: 528.77
COBISS: 1.16

IZVLEČEK
Poskus analize potencialno nevarnih vršajev z DMR-jem
Predmet raziskav so hitre spremembe površja na alpskem območju, povezane tudi s podnebnimi spremembami. Nestabilna pobočja dolin so pogosto pokrita z vršaji (ali s podžlebnimi melišči, ki jih tu ne obravnavamo), nastalimi po zadnji poledenitvi. Grušč je na takih območjih večinoma slabo poraščen ali celo neporaščen. Manj aktivni in pogosto poseljeni vršaji, ki jih analiziramo v prispevku, imajo nekoliko drugačne lastnosti in pomenijo s tem drugačno nevarnost kot tisti visoko v gorah. Identifikacijo in monitoring spreminjanja vršajev smo opravili s tehnikami iskanja primernih spremenljivk in s prostorskim modeliranjem pri uporabi visokokakovostnega DMR-ja. Prostorska analiza po sektorjih glede na izbrane azimute omogoča tudi iskanje manjših območij vršajev. Za samodejno iskanje so uporabljene vizualne metode, ki so v kombinaciji z numeričnimi pristopi pomembne za geomorfološko ocenjevanje. Kartiranje vršajev omogoča dvig družbene zavesti o možnih naravnih nevarnostih.

KLJUČNE BESEDE
vršaj, prostorska analiza, DMR, kartiranje, značilnosti površja, upravljanje z naravnimi nesrečami

ABSTRACT
An attempt of analysis of the potential hazardous detrital cones (fans and talus cones) with DTM
In alpine settings where the topographic evolution is mostly driven by climate change, the analysis of digital terrain data has attracted much interest. Unstable valley slopes are often covered by post-glacial detrital cones (fans). In these areas the scree slopes are often unvegetated, however in some settings of young forests or shrubs may cover them. Less active and often settled fans that are analysed in this paper have different behaviour and consequently another type of risk than these in high mountains. Identification and monitoring of changing of the fans have been evaluated with techniques of searching appropriate variables and with spatial modelling using of a high quality DTM. The spatial analysis based on sectorial analysis according to selected azimuths enables searching of the smaller fans areas. The output may be the visualisation of the terrain surface that is in combination with numerical approaches important for geomorphic assessment. Mapping of the fans increases public awareness on the possible natural hazards.

KEY WORDS
fan, spatial analysis, DTM, mapping, surface characteristics, risk management

1 Uvod

Vršaji in melišča so nastajali vse kvartarno obdobje in se tvorijo tudi v sedanjem času. V splošnem so predmet naših raziskav so tako vršaji kot tudi melišča. Testni primer tega sestavka se nanaša na vršaje. Vršaj je nagnjen prodnat ali peščen nanos v obliki trikotnika ali stožca, nastal zaradi zmanjšane transportne moči vodnega toka, navadno v pogorju, kjer reka z vzpetega površja priteče na ravnino (Kladnik s sodelavci 2005). Glede na različne lastnosti in pojavnost ločimo naslednje vrste vršajev: fosilni, hudourniški, meliščni, naplavni, periglacialni, podgorski, podmorski, ledeniški, prodni, proglacialni, recentni, rečni, rečno-ledeniški, terasasti.

1.1 Odkrivanje značilnosti površja

Z razvojem tehnologij za zajemanje podatkov se povečuje količina visokokakovostnih podatkov za izdelavo digitalnega modela reliefa (DMR). S fotogrametričnimi tehnikami, tehnikami obdelave LiDAR-ja (Roncat s sodelavci 2008; Podobnikar s sodelavci 2008) ter drugimi metodami pridobivamo na stotine milijonov točk zemeljskega površja s planimetrično ločljivostjo pod en meter. Velikost zbirke podatkov tipičnega projekta presega vrednosti reda velikosti terabajt. Zajem podatkov odgovarja doseganju določenih ciljev projekta. Vendar je vrednotenje stroškov za pridobivanje podatkov zelo pomemben dejavnik v odnosu z vedno novimi vidiki možnih analiz v prostoru.

Kljub temu da bo ostalo ročno odkrivanje značilnosti površja pomembno tudi v prihodnje, zahtevajo velike zbirke podatkov neizbežno hitre in samodejne tehnike procesiranja, še posebej pri identifikaciji

MIHA PAVŠEK

Slika 1: Vršaj Govic pod južno steno Prševca, nad Bohinjskim jezerom.

značilnosti površja. Za zajem značilnosti površja ločimo glede na opisano dva koraka (Székely in Podobnikar 2008):
- identifikacija možnih značilnih območij, pri uporabi samodejnih metod,
- preverjanje in določitev, pri čemer ročno ali polsamodejno zmanjšamo število območij na dejanske značilnosti površja.

Metode določanja značilnosti površja, s katerimi pripravimo primerne spremenljivke, se uporabljajo za geomorfološke in arheološke študije ali za oceno tveganja pred naravnimi nesrečami (Oštir s sodelavci 2002). Eden od pomembnih produktov uporabe DMR-ja za ta namen je ocenjevanje stabilnosti pobočij. Tovrstne analize so še posebej pomembne za gorska območja, kjer poteka relativno hitro spreminjanje površja, tudi nastajanje vršajev.

Identifikacija in opazovanje vršajev v obdobjih po deset let je pomembno za obveščanje o morebitnih nevarnostih in za načrtovanje. Območja spodnjih delov vršajev so pogosto naseljena ali obdelana, s čimer je možnost velike potencialne škode. Cilj te naloge je samodejna določitev takih območij. Rezultati naloge bodo uporabni za izdelavo kart in analizo lastnosti pobočij vršajev. Uporabljene so nekonvencionalne tehnike pridobivanja spremenljivk pri uporabi geomorfološko kakovostnega DMR Slovenije, s čimer pridobimo semantične informacije, kakršnih sam DMR ne vsebuje (Paget s sodelavci 2008).

1.2 Teoretični pristop

Najpogostejše prostorske analize v geografskih informacijskih sistemih (GIS-ih) vsebujejo topološko in kartografsko modeliranje, modeliranje mrež, samodejno kartografijo, algebro karte in prostorsko statistiko. Pomemben del GIS-a je možnost učinkovitih prostorskih analiz in vizualizacij, pri čemer je pomembna njihova čitljivost (Chesneau 2007). S prostorskimi analizami zgradimo modele, ki jih lahko razdelimo na opisne, pojasnjevalne, napovedovalne in normativne (Chou 1997). Možen pristop k prostorskemu modeliranju po Anselinu (2005) začne s pojasnjevalnimi analizami, s katerimi poišče zanimive vzorce, nadaljuje z vizualizacijami, pri katerih prikazuje vzorce ter jih pojasni s prostorskim modeliranjem. Modeliranje lahko vsebuje različne prostorske analize glede na postopek odločanja (Kanevski in Maignan 2004).

Metodologija temelji v našem primeru na pridobivanju potencialnih ploskev, ki opisujejo in kartirajo vršaje glede na večje število klasificiranih zveznih spremenljivk in indeksov. Najprej generiramo (opisne) zvezne spremenljivke (ki se nanašajo na indikatorje), pomembne za opis značilnosti vršajev. Zvezne spremenljivke dokumentirajo vzorce in pojave v prostoru (Haining 2003). Izdelava spremenljivk temelji na različnih operacijah prostorskih analiz pri uporabi DMR-ja (Burrough in McDonnell 1998). Dvojiške indekse, ki opisujejo značilna območja, izračunamo s klasifikacijo zveznih spremenljivk v dvojiške. Prag za pretvorbo določimo glede na znane opisne podatke o vršajih ter izkustveno. Posamezne indekse prekrijemo med seboj po pravilih algebre karte, z logično operacijo »IN«. Za izvedbo te naloge obstaja veliko samodejnih metod za klasifikacijo določenih značilnosti pri uporabi več spremenljivk (v okviru GIS ali razvite za daljinsko zaznavanje), ki bi v našem primeru lahko dodatno pomagale pri odločanju. Vendar smo se v tej nalogi osredotočili na pridobivanje primernih spremenljivk, ki že same po sebi odkrivajo iskane vzorce.

2 Podatki in metodologija

Pomembna kriterija za določitev študijskega območja sta bila pojav vršajev v Alpah ter možnost uporabe geomorfološko dovolj kakovostnega DMR-ja. Poleg tega so morali biti podatki DMR-ja čim bolj homogeni, s karseda malo grobimi napakami. Glede na različno ločljivost DMR-ja in dejansko razgibanost površja dobimo kot rezultat analiz različne naklone površja. Pri tem moramo dobro vedeti, kateri DMR je za tak izračun najprimernejši. Za izračun naklona reliefa lahko določimo optimalno ločljivost po metodah Hutchinsona in Gallanta (2000) ali Podobnikarja (2001).

2.1 Študijsko območje

Kot študijsko območje je bil izbran zgornji del Save Dolinke ob meji z Italijo in Avstrijo (slika 2). Geomorfološko visokokakovosten Digitalni model reliefa Slovenije, © 2005, Geodetska uprava Republike Slovenije, ki ji bil izdelan iz podatkov različne kakovosti (Podobnikar 2005), je bil izbran kot osnovni podatkovni sloj te študije. DMR Slovenije je na voljo kot digitalni modeli višin (DMV) v ločljivostih 12,5, 25 in 100 m. Uporabna sta se izkazala predvsem DMV 12,5 in 25.

Na študijskem območju teče reka Sava med Karavankami na severu in Julijskimi Alpami na jugu. Obe območji se razlikujeta glede na litološke značilnosti, rečno mrežo, denudacijo, sproščanje sedimentov in druge pojave. Za celotno območje je značilno zakrasnjevanje.

2.2 Spremenljivke iz DMR-ja

Iskanje potencialnih območij vršajev temelji na prekrivanju neodvisnih spremenljivk, s katerimi izračunamo potencialno ploskev vršajev. Vse opisane spremenljivke smo klasificirali z dobrim poznavanjem izbranih vršajev na študijskem območju. Najpomembnejši kriteriji za določitev tipičnih vršajev so: vršaji so relativno na dnu lokalnega reliefa, ukrivljenost je nizka in konveksna, vzdolžni naklon pobočij je predvidljiv in približno enakomeren (ne prenizek in ne previsok), azimut (orinetacija) posameznih vršajev je v glavnem konstanten, oblika klina je tipična (manjša od 180°). Inovativne spremenljivke in njihove povezave z vršaji so opisane v nadaljevanju.

2.2.1 Relativni relief

Cilj izdelave te spremenljivke je določitev območij po višinah, od dna do vrha relativnega reliefa (Podobnikar 2008). Predpostavljamo, da so območja vršajev blizu nižjim območjem relativnega reliefa (slika 3a). To spremenljivko smo izračunali z DMV 12,5. Vrednosti relativnega reliefa smo izbrali tako, da smo upoštevali le negativni del relativnega reliefa, kar pomeni, da smo izbrali relativni relief, ki je relativno pod navidezno srednjo ploskvijo površja.

2.2.2 Ukrivljenost

Vršaj ima določeno ukrivljenost po vsej površini, vendar je ta zelo nizka. Pozitivna ukrivljenost pomeni konveksnost in negativna konkavnost površine. Vršaji so tipično rahlo konveksno ukrivljeni. To spremenljivko smo izračunali iz DMV 25 kot geomorfološko kakovostnih podatkov (slika 3b). Izbrali smo vse vrednosti, ki so konveksne in za majhno odstopanje tudi konkavne.

2.2.3 Naklon pobočja

Vzdolžni naklon vršaja ima tipične vrednosti, da je lahko vršaj stabilen ali metastabilen. To spremenljivko smo izračunali iz DMV 25 (slika 3c). Upoštevali smo naklone med 2° in 15°. Pomembnost histograma lokalnega naklona je zelo pomembna v geomorfometričnih študijah, saj se tipično ne spreminja v primeru tektonskih premikov, dviganja in spuščanja površja ipd. (Székely s sodelavci 2002). Histogram naklona lahko smatramo kot »topografski spomin« za daljše obdobje.

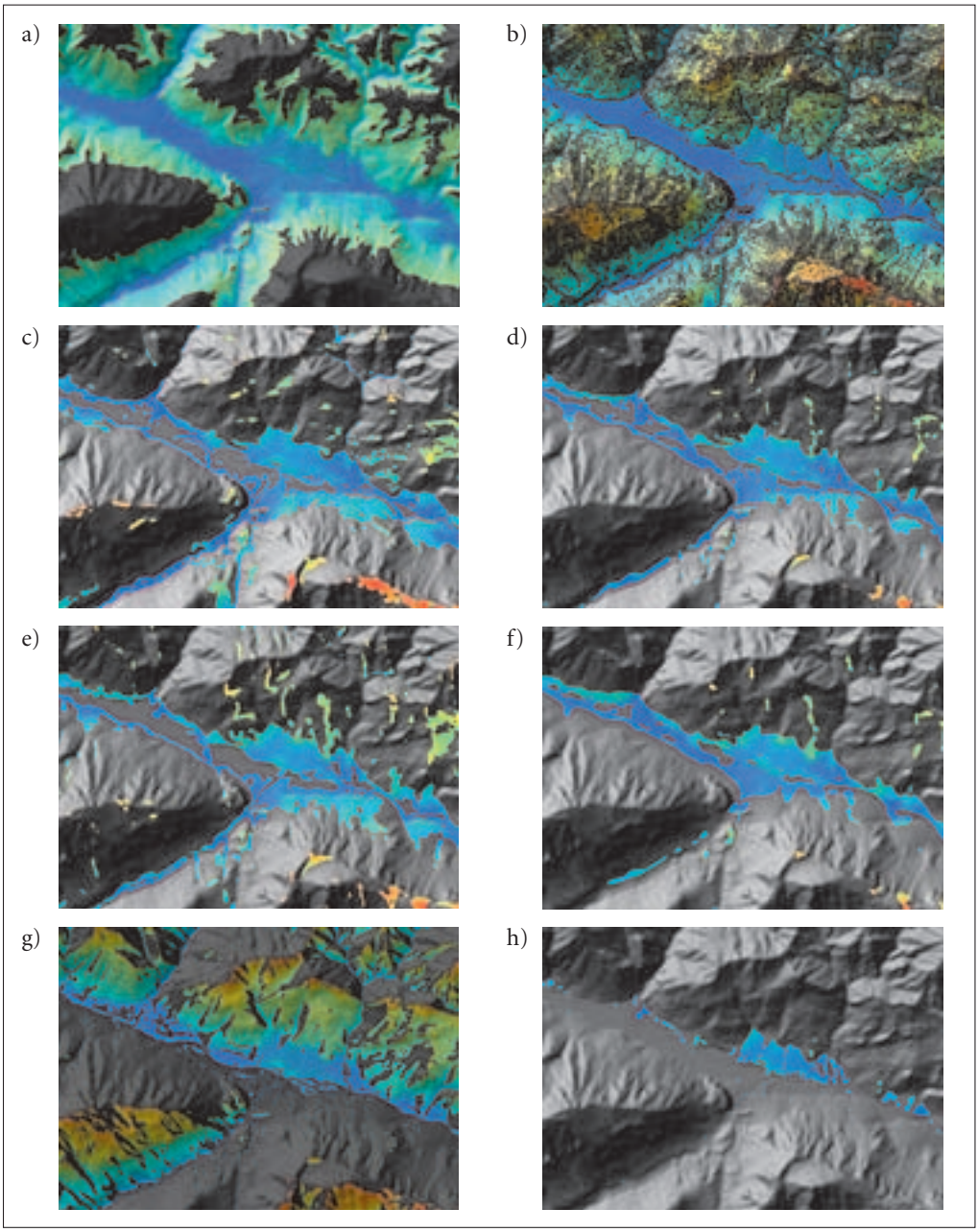
2.2.4 Spremenljivke, pridobljene z lokalnim oknom

Dodatne spremenljivke temeljijo na izračunu lokalnega okna (Možina in Podobnikar 2008). Lokalno okno ima v našem primeru obliko obročastega klina. Klin je bil izdelan tako, da je posnemal obliko tipičnega vršaja z naslednjimi parametri: polmer r, klin, in azimut v štirih smereh neba (sektorjih):

- vzhod: 45° do 135°,
- jug: 135° do 225°,

Slika 2: Študijsko območje v zgornjem delu doline Save Dolinke velikosti 39 km krat 15 km. ➤

MURSKA SOBOTA
MARIBOR
CELJE
NOVO MESTO
LJUBLJANA
KRANJ
NOVA GORICA
KOPER



Slika 3: Spremenljivke: relativni relief (a), ukrivljenost (b), naklon pobočja (c), spremenljivke pridobljene z lokalnim oknom za smer proti jugu (razmak za r = 250 m (d), standardni odklon za r = 250 m (e) in za r = 500 m (f)), ekspozicija proti jugu (g) in potencialna območja vršajev za južno smer (h). Bolj so območja modre barve (kot rdeče), nižja je vrednost relativnega reliefa, predstavljena s spremenljivko (a). Predstavljeno je območje v okolici Mojstrane 7,9 km krat 5,8 km.

- zahod: 225° do 315°,
- sever: 315° do 360° in 0° do 45°.

Pri vsakem premiku lokalnega okna so bile izračunane različne operacije. Če so se vrednosti na lokalnem oknu dobro prilagajale oblikam vršajev, potem smo lahko pričakovali nizko vrednost za operacijo iskanja razmaka in standardnega odklona. Seveda standardni odklon ni smel biti premajhen, saj bi sicer odražal popolnoma ravna območja (slika 3d, e, f). Uporabljali smo DMV 12,5 in 25. Izračunali smo razmak za r = 250 m za vrednosti 3 m do 20 m, standardni odklon za r = 250 m za vrednosti 1,5 m do 8 m ter za r = 500 m za vrednosti 1,2 m do 10 m. V tem primeru gre v nasprotju z drugimi za uporabo skupine med seboj močno soodvisnih spremenljivk, pri čemer se posamezne spremenljivke med seboj dopolnjujejo.

2.2.5 Ekspozicija

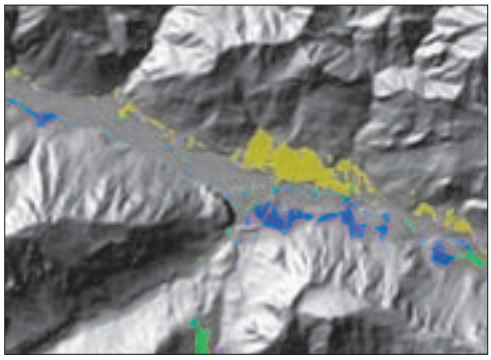
Vršaji so navadno usmerjeni v določeno smer, ne glede na velikost horizontalnega radia. Z uvedbo štirih sektorjev, in sicer v smeri azimutov proti vzhodu, jugu, zahodu in severu, smo posamezne vršaje bolj natančno klasificirali glede na vse navedene spremenljivke (slika 3g).

2.3 Modeliranje

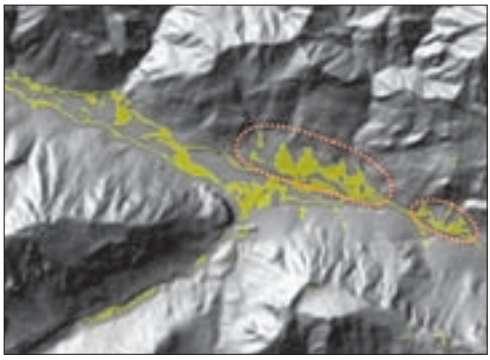
Opisane spremenljivke smo razvrstili glede na določene vrednosti pri upoštevanju opisa tipičnih vršajev. Pri tej razvrstitvi smo upoštevali določeno mero tolerance in pridobili dvojiške rastrske sloje podatkov. Nato smo jih prekrili z logično operacijo »IN« Boolove algebre. Območja, ki so preostala, smatramo za potencialna območja vršajev, določenih z modeliranjem (slika 3h). Ker so območja vršajev izračunana za štiri smeri oz. sektorje, smo končne rezultate mozaičili v potencialno območje vršajev (slika 4).

3 Rezultati

Rezultati modeliranja potencialnih območij vršajev glede na štiri smeri neba pri uporabi algebre karte kažejo na vzpodbudne rezultate. Tako v strugi reke Save Dolinke kot tudi v okoliških dolinah je



Slika 4: Potencialni vršaji, mozaičen za vse štiri smeri neba. Rumena predstavlja vršaje, usmerjene proti jugu, modra proti severu, zelena proti vzhodu in rožnata proti zahodu. Območje Mojstrane, 7,9 km krat 5,8 km.



Slika 5: Uporaba ene spremenljivke, pridobljene z lokalnim oknom za identifikacijo vršaja tipičnega radija r = 250 m za smer proti jugu, za območje v okolici Mojstrane, 7,9 km krat 5,8 km.

zaslediti stična klasificirana območja, ki jih smatramo za potencialna območja vršajev (slika 4). Večina območij vršajev je bila pravilno označena.

Kot zadnje smo naredili poskus uporabe ene same spremenljivke za identifikacijo vršajev in izdelavo približne potencialne ploskve. Uporabili smo že opisano spremenljivko (razdelek 2.2.4), pridobljeno z lokalnim oknom za tipičen radij vršaja r = 250 m ter spremenili vrednosti standardnega odklona na 1 do 3 m (slika 5). Rezultat kaže na dobro izbrano, precej univerzalno metodo.

4 Sklep

Ne glede na to, da smo predstavili rezultate na relativno majhnem testnem območju, deluje predlagana metoda tudi širše. Pri tem moramo modeliranje za druga območja prirediti, saj se nekateri parametri spremenijo, čeprav ostanejo spremenljivke iste. Pri uporabi enotnih parametrov ne moremo pričakovati stabilnih rezultatov, posebej pa še ne za različna območja litološke sestave tal ter glede na starost vršajev, ki so na testnem območju večinoma poraščeni.

Analize po sektorjih, glede na različne azimute se zdi izvedljiva tehnika iskanja in določanja celo manjših območij vršajev. Za končen rezultat bi lahko uporabili še nekaj filtriranj. Dobljena potencialna območja vršajev lahko potem analizirano po posameznih vzdolžnih naklonih pobočij in jih primerjano z nakloni odloženega materiala na stabilnih delih vršajev. Ne glede na opisano je še vedno pomembna ročna kontrola parametrov, da bi dobili res dober rezultat iskanja vršajev. V bodoče bodo rezultate natančno ovrednotili potencialni uporabniki kot so geomorfologi in fizični geografi.

Rezultati samodejnega iskanja oblik površja kot so vršaji, bi bili lahko uporabljeni v sklopu vizualizacije geomorfoloških oblik površja. Kombinacija numeričnih metod za pridobivanje geomorfoloških oblik ter napredne metode vizualizacije niso pomembne le za geomorfološko ovrednotenje površja, temveč tudi za boljšo komunikacijo z zainteresiranimi pri osveščanju glede na naravne nevarnosti ter na splošno za izboljšanje družbene zavesti.

Metodologija določitve vršajev po geomorfoloških kriterijih je nastala ob podpori projekta TIMIS.plus.II kot del programa »HRSC na Mars Expressu« s pomočjo Avstrijske agencije za promocijo znanosti v okviru programa ASAP. Osnovne ideje za izdelavo aplikacije in predstavljenih tehnik so nastale pri delovanju avtorjev na ZRC SAZU ter na projektu OTKA T47104 kot del Madžarskega nacionalnega znanstvenega sklada. Pomemben del podatkov je posredovala Geodetska uprava Republike Slovenije.

5 Viri in literatura

Anselin, L. 2005: Mapping and geovisualization (ACE 592SA – Spatial Analysis).

Chesneau, E. 2007: Improvement of Colour Contrasts in Maps: Application to Risk Maps. 10th AGILE International Conference on Geographic Information Science. Aalborg.

Burrough, P. A., McDonnell, R. A. 1998: Principles of Geographical Systems Information Systems: Spatial Information Systems and Geostatistics. Oxford.

Chou, Y.-H. 1997: Exploring Spatial Analysis in Geographic Information Systems. Santa Fe.

Haining, R. 2003: Spatial Data Analysis: Theory and Practice. Cambridge.

Hutchinson, M. F., Gallant, J. C. 2000: Digital Elevation Models and representation of terrain shape. Terrain Analysis: Principles and application. New York.

Kanevski, M., Maignan, M. 2004: Analysis and modelling of spatial environmental data. Lausanne.

Kladnik, D., Orožen Adamič, M., Lovrenčak, F. (ur.) 2005: Geografski terminološki slovar. Ljubljana.

Možina, P., Podobnikar, T. 2008: Analiza geomorfoloških značilnosti pri uporabi lokalnega okna. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008. Ljubljana.

Oštir, K., Veljanovski, T., Podobnikar, T., Stančič, Z. 2002: Uporaba daljinskega zaznavanja pri opazovanju plazu v Logu pod Mangartom. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2001–2002. Ljubljana.

Paget, A., Perret J., Gleyze, J.-F. 2008: L'analyse des graphes hydrographiques pour la caractérisation du relief. SAGEO 2008. Montpellier.

Podobnikar, T. 2001: Digitalni model reliefa iz geodetskih podatkov različne kakovosti. Doktorska disertacija, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. 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. 2008: Enhancing terrain features for improved cartographic visualization. Second international conference on cartography and GIS, Proceedings 1. Borovec.

Podobnikar, T., Briese, C., Doneus, M., Pfeifer, N. 2008: Uncertainties in spatial modelling of the cultural environment. Archaologie und Computer. Kulturelles Erbe und neue Technologien. Dunaj.

Roncat, A., Wagner, W., Melzer, T., Ullrich, A. 2008: Echo detection and localization in full-waveform airborne laser scanner data using the average difference function estimator. The Photogrammetric Journal of Finland 21-1. Espoo.

Székely, B., Podobnikar, T. 2008: An attempt for automatic detection and visualization of talus cones from digital elevation data. Second international conference on cartography and GIS, Proceedings 2. Borovec.

Székely, B., Reinecker, J., Dunkl, I., Frisch, W., Kuhlemann, J. 2002: Neotectonic movements and their geomorphic response as reflected in surface parameters and stress patterns in the Eastern Alps. EGU Stephan Mueller Special Publication Series 3. Katlenburg-Lindau.

IZRAČUN VPLIVA SPREMEMB RABE TAL NA EROZIJO V ZGORNJEM POSOČJU S POMOČJO GIS

dr. Blaž Komac, dr. Matija Zorn
Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU
blaz.komac@zrc-sazu.si, matija.zorn@zrc-sazu.si

UDK: 711.14:631.459(497.4)
COBISS: 1.16

IZVLEČEK
Vpliv sprememb rabe tal na erozijo v Zgornjem Posočju s pomočjo GIS
V članku so opisane spremembe erozije v posoških Julijskih Alpah v zahodni Sloveniji v zadnjih dveh stoletjih. Kot temeljno orodje za izračun sprememb erozije smo uporabili geografski informacijski sistem in vanj vključili izbrani erozijski model. Za izračun smo uporabili Gavrilovićevo enačbo.
Erozijo smo izračunali za pet časovnih obdobij, in sicer za leta 1827, 1896, 1953, 1979 in 1999. Na podlagi izračuna smo lahko potrdili vpliv sprememb rabe tal na erozijo. Na približno 600 km^2 velikem preučevanem območju se letno sprosti povprečno približno 5 milijonov m^3 gradiva. Spremembe erozije odsevajo celoten družbeno-gospodarski razvoj območja zadnjih dveh stoletij.

KLJUČNE BESEDE
erozija, modeliranje erozije, Gavrilovićeva enačba, spremembe rabe tal, Zgornje Posočje, Slovenija

ABSTRACT
Influence of land use changes on erosion in the Upper Soča valley using GIS
In the paper changes in erosion in the west part of the Julian Alps in Slovenia during the last two centuries are described. The calculation of the erosion was made by a model that was run in the GIS environment. Selected was the empirical Gavrilović equation, similar to the USLE equation.
The erosion was calculated for five terms, i. e. for the years 1827, 1896, 1953, 1979 and 1999. On this basis it was possible to establish the changes in erosion processes as the consequence of land use change. On average, about 5 million m^3 of material is eroded every year in the area of about 600 km^2. The changes in erosion faithfully reflect the social-economic development of the area in the last two centuries.

KEY WORDS
erosion, erosion modelling, Gavrilović equation, land use change, Upper Soča Valley, Slovenia

1 Uvod

Alpe so vir različnih sedimentov, ki jih pogosti in razmeroma intenzivni pobočni procesi premeščajo v nižje lege (Komac in Zorn 2007). Dosedanji podatki so kazali, da je specifično sproščanje gradiva v Sloveniji med 3,7 in 4,5 t/ha na leto, kar pomeni, da je letno sproščanje gradiva med 3,9 milijona in 5,7 milijona m^3 (Komac in Zorn 2005, 80; Zorn in Komac 2005, 167; Hrvatin s sodelavci 2006). Glede na podatke, ki jih bomo predstavili v nadaljevanju za Zgornje Posočje, in glede na rezultate meritev, ki jih za slovensko Istro navaja Zorn (2007a; 2007b), je zgornji podatek o sproščanju gradiva v Sloveniji gotovo podcenjen.

Na erozijo in odlaganje sedimentov vplivajo štirje poglavitni dejavniki: vrsta prepereline/kamnine, podnebje, relief in raba tal. Čeprav so omenjeni dejavniki do določene mere odvisni od človekove dejavnosti, je najbolj »obvladljiv« dejavnik raba tal (Van Rompaey s sodelavci 2003, 73). Zato smo lahko spremembe erozije v zahodnem delu Julijskih Alp (591,5 km^2), natančneje v porečju Soče v zadnjih dveh stoletjih določili prav s spremembami rabe tal.

Za izračun smo uporabili erozijski model z rabo tal kot poglavitnim parametrom za izračun erozije. Izbrali smo Gavrilovićevo enačbo (Gavrilović 1962; 1970; 1972). Parametre enačbe je delno spremenil Lazarević (1968a, 92; 1985, 54), kasneje pa tudi nekateri drugi avtorji (Pintar s sodelavci 1986, 807). V tem članku smo uporabili Gavrilovićevo enačbo, kot jo je priredil Lazarević (1968a; 1985). Z enačbo lahko izračunamo oziroma določimo erozijske koeficiente ter tako kvantificiramo sproščanje in odplavljanje gradiva na določenem območju. Metodo so v zadnjih treh desetletjih, kljub pomanjkljivostim (Staut 2004, 22–25), pogosto uporabljali v Sloveniji in sosednjih državah za ugotavljanje in napovedovanje intenzivnosti erozijskih procesov, zlasti za potrebe urejanja hudournikov in drugih hidrotehničnih del (Gavrilović 1988; Globevnik s sodelavci 2003, 225).

Njena »klasična« uporaba je zahtevala veliko »ročnega« preračunavanja, z razvojem geografskih informacijskih sistemov in vse natančnejšimi digitalnimi modeli višin pa se je njena uporaba močno poenostavila.

V spremembah rabe tal in spremembah erozije se kažejo tudi človekove dejavnosti, s katerimi pogosto poruši krhko naravno ravnovesje. Raziskava Klaghoferja s sodelavcih (2002, 195) je pokazala, da so med letoma 1950 in 1990 širjenje kmetijskih zemljišč v gričevnata/hribovita območja s strmimi pobočji, spremembe rabe tal in spremembe obdelovalnih načinov zelo povečale erozijo prsti in količino sproščenega gradiva v porečju Donave v Avstriji. V Sloveniji pa sta močna depopulacija in opuščanje rabe kmetijskih zemljišč v zadnjih desetletjih prispevala k zmanjšanju površin kmetijskih zemljišč in velikemu naraščanju gozdnih površin (Petek 2005a; 2005b) in zato do nasprotnih učinkov v intenzivnosti sproščanja gradiva, kot jih navajajo Klaghofer s sodelavci (2002).

V knjižni zbirki Geografski informacijski sistemi v Sloveniji je to šele drug prispevek, ki govori o možnosti uporabe geografskih informacijskih sistemov pri preučevanju erozije. Pred več kot desetletjem so Podobnikar s sodelavci (1996) predstavili erozijski model otoka Brača.

2 Metode

2.1 Gavrilovićeva metoda

Hitro in preprosto kvantifikacijo erozije omogočajo številni tako imenovani erozijski modeli. Empirični erozijski modeli povečini temeljijo na kombinaciji kratkotrajnih meritev in matematičnih formul. Ti modeli s pomočjo statističnih metod oziroma regresijske analize izračunajo povezanost med odvisno spremenljivko in nizom neodvisnih spremenljivk (Staut 2004, 10). Najpogosteje uporabljan takšen model je ameriški model za izračun erozije USLE (*Universal Soil Loss Equation* 'splošna enačba izgube prsti'). Razvila sta ga Wischmeier in Smith (1965), na njem pa temeljijo številni sodobni in

pogosto uporabljani modeli (na primer *Revised USLE.* 'popravljeni USLE' oziroma *Modified USLE* 'modificirani USLE') (Petkovšek 2000).

V Sloveniji in sosednjih državah zelo pogosto uporabljamo tako imenovano Gavrilovićevo enačbo (1962; 1970; 1972) in njene spremenjene različice (Lazarević 1968a; 1985; Pintar s sodelavci 1986), ki so podobne modelu USLE (Mikoš s sodelavci 2006, 205).

Po Z. Gavriloviću (1994, 327) je prednost Gavrilovićeve enačbe v tem, da ni namenjena predvsem izračunavanju erozije prsti na kmetijskih zemljiščih kot metoda USLE, pač pa je bila razvita za hidrotehnično stroko oziroma urejanje hudournikov. Zato lahko erozijo izračunamo ne glede na rabo tal. Enačba je bila izdelana na podlagi večletnih meritev, ki so jih izvajali na erozijskih poljih v osrednji Srbiji (Lazarević 1968b, 36).

S. Gavrilović (1962, 156; 1970, 93; 1972, 112) je predlagal analitično enačbo za izračun letnega sproščenja gradiva:

$$W_a = T \cdot P_a \cdot \pi \cdot \sqrt{Z^3} \cdot F \qquad (1)$$

Legenda:
W_a = povprečno letno sproščanje gradiva (m^3/leto)
T = temperaturni koeficient
P_a = srednja letna količina padavin (mm)
Z = erozijski koeficient območja
F = velikost območja (km^2)

$$T = \sqrt{\frac{T_0}{10} \cdot 0{,}1} \qquad (2)$$

T_0 = povprečna letna temperatura (°C)

$$Z = Y \cdot Xa \cdot \left(\varphi + \sqrt{J_a}\right) \qquad (3)$$

Y = koeficient erodibilnosti
Xa = koeficient vegetacijske zaščite
φ = koeficient razvitosti erozijskih pojavov
J_a = srednji naklon območja (%)

S pomočjo erozijskega koeficienta Z določimo intenzivnost ali gostoto erozijskih procesov (Staut 2004, 10).

Koeficent erodibilnosti (Y) lahko opišemo kot inverzno vrednost odpornosti prsti ali preperine na dežno erozijo. Standardne vrednosti tega koeficienta so bile določene eksperimentalno v laboratorijih ali s terenskim delom. Parametra Xa in φ sta bila določena na podlagi pisnih in kartografskih zgodovinskih virov. Koeficient Xa sestavljata koeficient rabe tal X in koeficient pokrovnosti tal (z rastjem) a. S pomočjo teh dveh koeficientov lahko numerično predstavimo varovalno vlogo rastja pred vplivom atmosferskih procesov in erozije. Koeficient X je odvisen od vrste rabe tal, značilnosti združbe rastja in stopnje pokritosti površja z rastjem, medtem ko je koeficient a odvisen od protierozijskih ukrepov (zlasti v kmetijstvu). Oba koeficienta obravnavamo skupaj, vrednost skupnega koeficienta Xa pa sega od 0,01 za popolnoma zaščitene površine do 1,00 za popolnoma gole, nezaščitene in neurejene površine. Koeficient φ označuje stopnjo izraženosti erozijskih procesov (njihovo vidnost) v obravnavanem območju. Opisani koeficienti so podrobneje razloženi v delih S. Gavrilovića (1962; 1970), Z. Gavrilovića (1988), Lazarevića (1968a; 1985), Stauta (2004) ter Ventejeve in Poesena (2005, 107).

Velika splošnost spremenljivk in parametrov v Gavrilovićevi enačbi omogoča oceno erozijskih procesov tudi takrat, ko nimamo dovolj informacij o obravnavanem območju, zato je izračun možen celo brez terenskega dela. Tako lahko s to metodo dobimo vpogled v erozijsko aktivnost na določenem območju v preteklosti, če so dostopni zanesljivi pisni zgodovinski viri (kot v našem primeru) ali dobre kartografske podlage, zemljevidi oziroma letalski posnetki, ki jih lahko vpnemo v državno koordinatno mrežo (Petek in Fridl 2004); dostopni morajo biti tudi podatki o podnebju (Staut 2004, 25).

Slika 1: Obrazec franciscejskega katastra za vpisovanje površin zemljiških kategorij rabe tal po katastrskih občinah (vir: Arhiv Republike Slovenije).

Za takšne izračune je geografski informacijski sistem zelo uporaben pripomoček. Omogoča, da na isti osnovi primerjamo podatke iz različnih virov in tako pridobimo nove, bolj kakovostne podatke.

Gavrilovićevo enačbo praviloma računamo po hidrogeografskih enotah, to je porečjih ali delih porečij. Podatki o rabi tal, ki smo jih uporabili, so zbrani po katastrskih občinah, ki na izbranem območju dobro sovpadajo z mejami porečij oziroma njihovimi deli. Zato smo v članku privzeli, da so katastrske občine hidrogeografske enote.

2.2 Priprava podatkov in obdelava z GIS

Erozijo smo izračunali za pet obdobij, in sicer za leta 1827, 1896, 1953, 1979 in 1999. Na podlagi izračunov za ta obdobja smo lahko opredelili spremembe erozijskih procesov za pretekli dve stoletji.

Podatke za leto 1827 smo pridobili iz Franciscejskega katastra, to je projekta izmere zemljišč, ki se je začel po cesarjevem patentu iz leta 1817, in je bil na večini slovenskega ozemlja končan do leta 1828 (Petek in Urbanc 2004, 107). Podatke iz pisnega dela katastra (slika 1) smo vzeli za vsako katastrsko občino posebej (Petek 2005a, 23).

Katastrski so tudi podatki o rabi tal za leto 1896 (Petek 2005b, 23). Podatki temeljijo na reviziji katastra leta 1896. Povzeli smo jih po leksikonu občin takratnih avstrijskih dežel (Leksikon občin za Kranjsko 1906; Leksikon občin za Koroško 1905; Leksikon občin za Štajersko 1904 in Leksikon občin za Avstrijsko-Ilirsko primorje 1906).

Za opredelitev spremembe rabe tal po 2. svetovni vojni smo prav tako uporabili katastrske podatke, združene na raven katastrskih občin za leta 1953, 1979 in 1999 (Petek 2005b, 23).

Ker je bila metodologija zbiranja podatkov (preglednica 1) od franciscejskega katastra iz 1. polovice 19. stoletja naprej tako rekoč enotna in le malo spremenjena, so podatki zelo primeren vir za

preučevanje sprememb rabe tal skozi daljša obdobja in za večje prostorske enote (mezoregije, regije). Slabost katastra je, da ne prikazuje dejanskih oziroma aktualnih razmer (Petek 2005b, 5). Zbrane katastrske podatke za celotno Slovenijo hrani Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU.

Izračune za katastrske občine smo obdelali v obliki rastrskih podatkov z velikostjo osnovne celice 25 krat 25 metrov s pomočjo programskega paketa *Idrisi*. Podatke o litološki sestavi območja smo pridobili z digitalnega geološkega zemljevida v merilu 1 : 100.000 (Buser 1986; Jurkovšek 1987), podatke o prsteh z digitalne pedološke karte 1 : 25.000 (Pedološka … 1999), podatke o reliefnih oblikah pa iz digitalnega modela višin z velikostjo osnovne celice 25 krat 25 metrov. Ker ne obstajajo natančni podatkov o podnebju za pretekla obdobja, smo za izračun ekstrapolirali podatke referenčnega obdobja 1960–1990 (Zupančič 1995).

Slika 2: Obravnavano območje.

Preglednica 1: Pregled združenih zemljiških kategorij rabe tal iz zemljiškega katastra po referenčnih letih (Petek 2005b, 26).

	1827	1896	1953	1979	1999
njive	njive, njive s sadnim drevjem, hmeljišča, vinogradi	njive, vinogradi	njive, vinogradi	njive, vinogradi	njive, hmeljišča, vinogradi, intenzivni sadovnjaki
travniki	travniki, travniki s sadnim drevjem, travniki z drevjem, travniki z grmovjem, zelenjavni vrtovi, sadni vrtovi (sadovnjaki), okrasni vrtovi, novine, mokrotni travniki	travniki, vrtovi	travniki, vrtovi, sadovnjaki	travniki, vrtovi, sadovnjaki	travniki, vrtovi, sadovnjaki
pašniki	pašniki, pašniki z grmovjem, pašniki z drevjem, pašniki s sadnim drevjem, planine	pašniki in planine	pašniki	pašniki	pašniki
gozd	gozd, grmišča	gozd	gozd	gozd	gozd
ostalo	močvirja, močvirja s trstiko, peskokopi in gramoznice, glinokopi, kamnolomi, skalovja, pušče, reke ali potoki, jezera ali ribniki, zazidana zemljišča, poti, ostale kulture	parifikati, davka prosta zemljišča	močvirje, nerodovitni (vsa ostala nekmetijska zemljišča)	močvirje, nerodovitni (vsa ostala nekmetijska zemljišča)	ostale nekmetijska zemljišča (stavbna, zelene površine, vode, nerodovitno)

3 Rezultati

Med letoma 1827 in 1900 so bile spremembe erozije v slovenskih Alpah minimalne, saj se je raba tal spremenila na manj kot polovici odstotka površin. Prevladovala je intenzifikacija, predvsem spreminjanje travnikov v njive. Med letoma 1900 in 1953 se je začelo omejevanje njivskih površin na najugodnejše lege. Opuščene njive je zarasla trava, ozelenjevanje je bilo tudi najpomembnejši proces v tem obdobju. Na spremembe rabe tal so v tem času vplivale tudi različne družbene razmere. Med letoma 1953 in 2000 se je raba tal spremenila predvsem zaradi močnega ogozdovanja, vendar lahko prvo polovico tega obdobja razlikujemo od druge. Spremembe rabe tal so bile v prvi polovici najbolj intenzivne v celotnem preučevanem obdobju. Med letoma 1953 in 1979 se je z gozdom zarasel največ-

Slika 3: Erozija v Zgornjem Posočju v m³ med letoma 1827 in 1999.

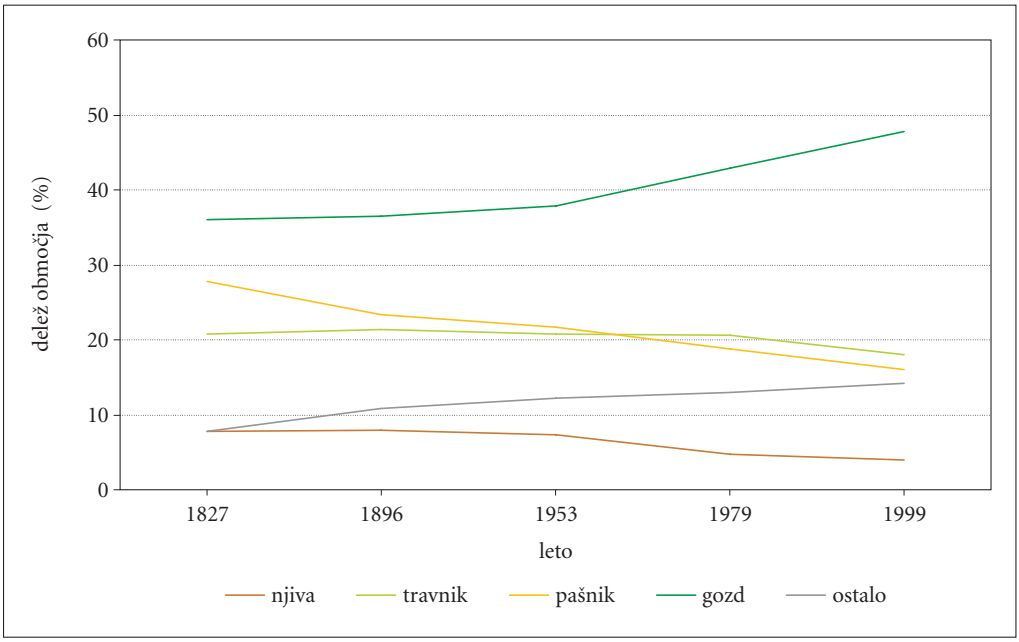
ji delež kmetijskih zemljišč. Med letoma 1979 in 2000 pa je ogozdovanje nekoliko upadlo, verjetno zaradi ukrepov, s katerimi so po letu 1970 pospeševali kmetijsko dejavnost. Med letoma 1900 in 2000 je ogozdovanje potekalo kar na četrtini slovenskega ozemlja (Petek 2005b, 6).

Zaradi tako velikih sprememb rabe tal so zanimive tudi spremembe erozije v tem obdobju. Skupna letna erozija na obravnavanem območju je leta 1827 dosegla 4,76 milijonov m³, leta 1999 pa je bila približno enaka. V vmesnem času je narasla do 5,72 milijona m³ leta 1953.

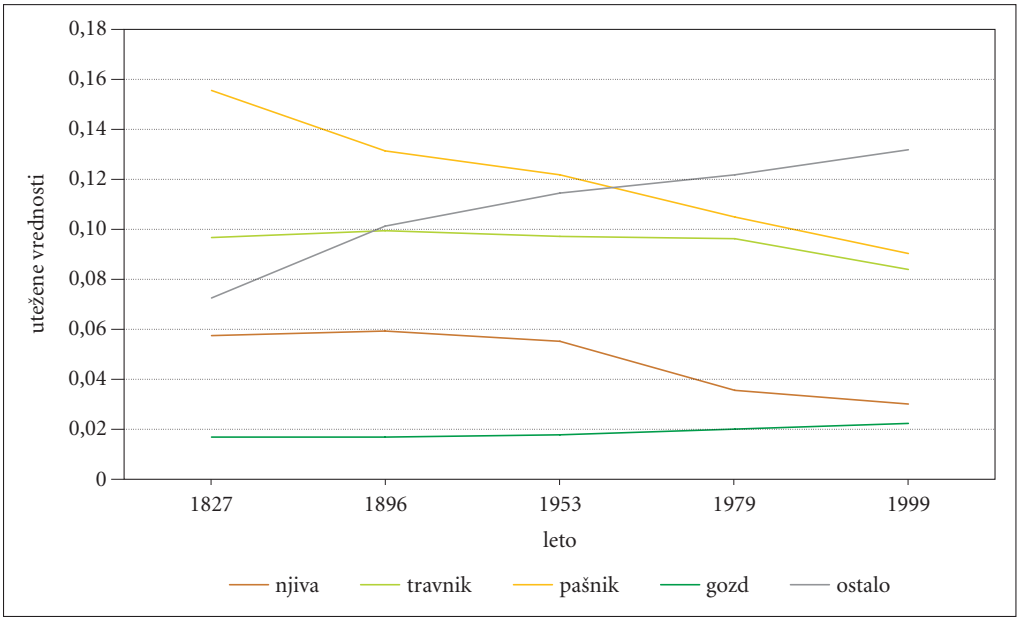
Poglavitni vzrok za porast erozije je bila agrarna prenaseljenost območja, zaradi katere se je izseljevalo prebivalstvo ob koncu 19. stoletja. Zanimivi pa so tudi podatki o specifični eroziji, saj kažejo na velik vpliv erozijskih žarišč. Ta so na obravnavanem območju številna, posebej izstopajo strma dolomitna pobočja in deloma tudi flišna dna dolin. Leta 1827 je bilo specifično sproščanje 9254 m³/km², 7632 m³/km² leta 1999, v vmesnem času, to je leta 1953, pa je doseglo 9547 m³/km². Domnevamo, da so temeljni vzrok za takšen razvoj spremembe rabe tal, ki odsevajo kompleksne družbeno-gospodarske in naravne procese na obravnavanem območju.

Preglednica 2: Delež površin glede na rabo tal v letih 1827, 1896, 1953, 1979 in 1999 (Petek 2005b).

%	1827	1896	1953	1979	1999	sprememba 1827–1999	% sprememba 1827–1999	indeks
njiva	7,73	7,93	7,37	4,77	4,04	–3,68	–91,16	52,31
travnik	20,74	21,30	20,81	20,61	17,96	–2,79	–15,51	86,57
pašnik	27,77	23,43	21,73	18,72	16,09	–11,68	–72,57	57,95
gozd	35,98	36,50	37,84	42,86	47,77	11,79	24,68	132,77
ostalo	7,78	10,84	12,25	13,03	14,14	6,36	44,97	181,70

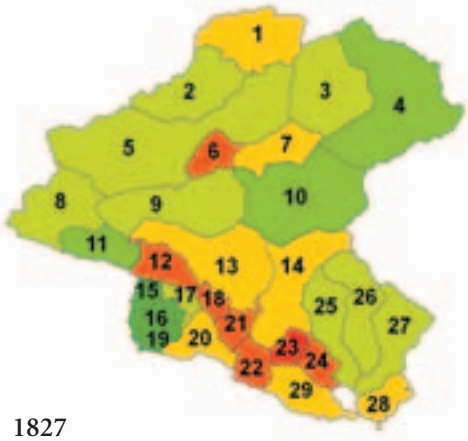


Slika 4: Delež površin glede na rabo tal v letih 1827, 1896, 1953, 1979 in 1999 (Petek 2005b).

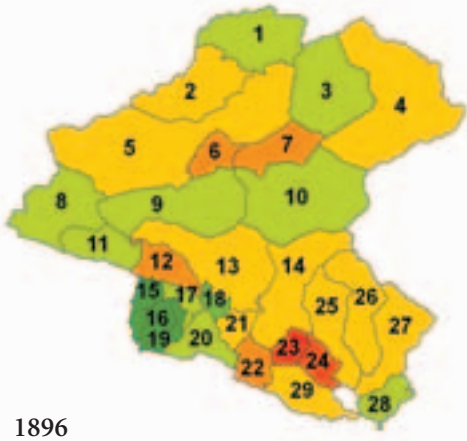


Slika 5: Utežene vrednosti erozije v odvisnosti od koeficienta erodibilnosti v letih 1827, 1896, 1953, 1979 in 1999.

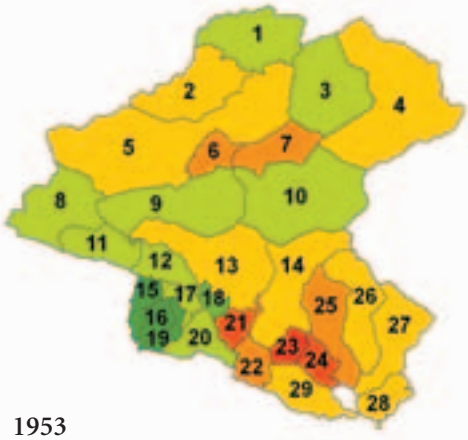
Slika 6: Specifično letno sproščanje gradiva po katastrskih občinah v obravnavanih obdobjih (za številke katastrskih občin glej sliko 2). ►



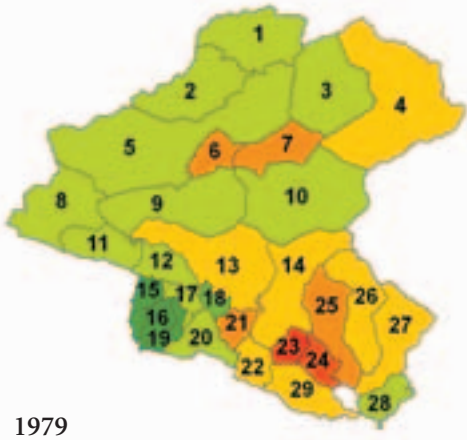
1827



1896



1953

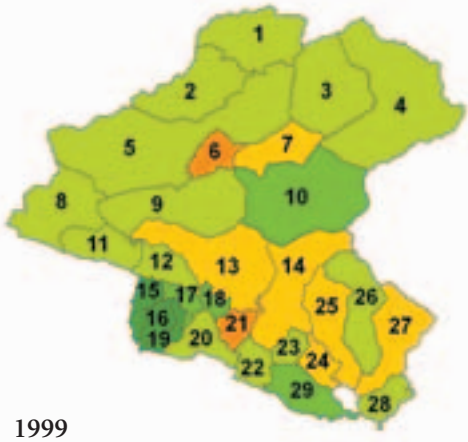


1979

Legenda:

- pod 3000 m^3/km^2
- 3000–6000 m^3/km^2
- 6000–9000 m^3/km^2
- 9000–12.000 m^3/km^2
- 12.000–15.000 m^3/km^2
- 15.000–18.000 m^3/km^2
- nad 18.000 m^3/km^2

Avtorja vsebine: Blaž Komac, Matija Zorn
Kartografija: Matija Zorn
© Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU



1999

Delež njiv je med letoma 1827 in 1999 upadel za polovico, delež pašnikov za približno 40 %, delež travnikov pa za 15 %. V istem času je delež gozdov narasel približno za tretjino. Prav varovalna vloga vedno večjih gozdnih površin na strmih pobočjih je veliko prispevala k zmanjšanju erozije v zadnjih desetletjih. Upad pašniških površin, ki so zaradi večje nadmorske višine in naklonov bolj izpostavljeni eroziji kot travniki, je bil prav tako pomemben. Upad njivskih površin je imel majhen vpliv na zmanjšanje erozije. Njive so na obravnavanem območju predvsem v dnu dolin in na rečnih terasah, kjer je erozija majhna zaradi majhnih naklonov površja.

Glede na površine, ki jih zasedajo določene kategorije rabe tal, smo ugotovili, da je povečana erozija v preteklem stoletju povezana z majhnim deležem gozdnih površin in visokim deležem pašnikov. Delež pašnikov je upadel po gospodarskem prehodu v sedemdesetih letih 20. stoletja, ko se je aktivno prebivalstvo zaposlovalo v industriji ter njihovo preživetje ni bilo več odvisno od reje živine in planinske paše. Zmanjšanje erozije v zadnjih desetletjih je v manjši meri tudi posledica manjšega deleža njiv oziroma obdelovalnih zemljišč.

Za lažjo primerjavo erodibilnosti zemljišč z različno rabo tal smo vrednosti standardizirali (množili z ustreznimi koeficienti in delili s 100). Na ta način smo ugotovili, da so pašniki imeli relativno največjo vlogo pri erodibilnosti na obravnavanem goratem območju. Erodibilnost v preteklosti je bila odvisna od zmanjševanja površine njiv in pašnikov ter od povečevanja tako imenovanih ostalih območij, ki vključujejo neporasla in urbanizirana zemljišča (slika 5).

Čeprav smo ugotovili, da rezultati odsevajo družbeno-gospodarski razvoj območja, moramo biti previdni glede uporabljenih virov. V zadnjih letih namreč zemljiški kataster v Sloveniji ni več zanesljiv vir informacij o dejanski rabi tal, je pa uporaben za ugotavljanje lastništva. Bolj relevanten vir je karta Rabe kmetijskih zemljišč (2002), ki jo je izdelalo Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano Republike Slovenije. Na podlagi te karte je bila na primer leta 2000 erozija občutno nižja (3,05 milijona m^3) kot na podlagi podatkov, izračunanih iz katastra za leto 1999 (4,84 milijona m^3).

Vedeti moramo tudi, da so izračunani podatki povprečja, za izračune pa je bil uporabljen model. Zato v izračunih niso upoštevani ekstremni dogodki (Staut 2004, 24). Količina sproščenega gradiva je lahko samo pri enem od takih dogodkov enakovredna skupni letni eroziji v Zgornjem Posočju. Tako je samo drobirski tok v Log pod Mangartom leta 2000 premaknil v nižje lege za več kot milijon m^3 gradiva (Komac in Zorn 2007). Originalna Gavrilovićeva enačba je bila zato v Sloveniji spremenjena tako, da so namesto povprečne letne količine padavin upoštevali maksimalne dnevne padavine (Pintar s sodelavci 1986, 807).

Po izračunih Mikoša s sodelavcih (2006, 209) je povprečno letno sproščanje gradiva na obravnavanem območju približno 2200 ton na km^2 ali približno 1400 m^3 na km^2. Povprečno letno odlaganje gradiva je na tem območju približno 200 m^3 na km^2, povprečni koeficient retencije pa 0,31. Številke so razmeroma nizke v primerjavi z našimi izračuni za letno sproščanje sedimentov (8047 do 9670 m^3 na km^2), toda kar realne, če upoštevamo dejstvo, da so v Zgornjem Posočju razmeroma pogosti potresi in močna deževja. Zaradi skalnih podorov, ki jih sprožijo potresi, in zaradi zemeljskih plazov, ki jih sprožijo intenzivne padavine, se je na obravnavanem območju med letoma 2000 in 2004 sprostilo približno 125.000 m^3 na km^2 gradiva (Mikoš s sodelavci 2006, 198), kar je približno dvanajstkrat več od povprečnega letnega sproščanja gradiva. Višek gradiva, ki ga hidro-geomorfni procesi ne morejo odnesti, se ustavi v rečnih strugah ter na prodiščih in se potem v naslednjih letih počasi premešča navzdol. Povprečno se po Soči na leto premakne 138.000 m^3 gradiva v obliki proda (Mikoš s sodelavci 2006, 209). Poleg tega na sproščanje sedimentov v gorskih pokrajinah močno vplivajo spremembe rabe tal, saj pri tem prihaja do razkrivanja površja, s tem pa do večje izpostavljenosti eroziji.

4 Sklep

Članek prikazuje, da so zgodovinski viri o rabi tal zelo pomemben vir za sprotno, hitro in učinkovito ugotavljanje sprememb erozije, če za izračun erozije uporabimo pravi model in geografske informacijske sisteme.

Odziv geomorfnega sistema na spremembe rabe tal je nelinearen: že majhna sprememba v deležu obdelovalnih zemljišč vpliva na razmeroma velike spremembe v sproščanju gradiva in na ogroženost zaradi erozije (Van Rompaey s sodelavci 2003, 97). Ob povečanju površine obdelovalnih zemljišč povprečna stopnja erozije v določenem porečju še hitreje naraste, saj je naklon na novo pridobljenih zemljišč pogosto večji od naklona običajnih obdelovalnih zemljišč. Ogozdovanje pa vpliva na hitrejše zmanjšanje povprečne letne erozije na določenem območju, saj so zemljišča na erozijsko bolj ogroženih strmih pobočjih bolj podvržena ogozdovanju kot zemljišča, ki so na ravnini. Tako se na primer ob zmanjšanje površine obdelovalnih zemljišč za 5 % povprečna stopnja erozije prsti zmanjša za 8,5 %, sproščanje gradiva pa kar za 13,5 % (Van Rompaey s sodelavci 2003, 95–96).

Modeli in izračuni, kot je ta, ki smo ga prikazali v članku, so že več desetletij temelj za urejanje hudournikov pri nas. V preteklosti smo za izračunavanje erodibilnosti rabili veliko časa in naporov, danes pa zlasti geografski informacijski sistemi omogočajo hitre izračune in oceno stanja. Zaradi tega se lahko sproti odzivamo na spremembe v naravi in po potrebi tudi hitro ukrepamo. V preteklosti so lahko obdelali le aktualne razmere, danes pa lahko z digitaliziranimi viri podatkov, vpetimi v geografski informacijski sistem, primerjamo razmere v različnih obdobjih. Ta možnost bistveno poveča kakovost izdelka in tudi njegovo vrednost. Iz časovnega niza prostorskih podatkov namreč lahko sklepamo na procese v pokrajini, ugotavljamo njihove vzroke in sklepamo o posledicah. Pri tem ne moremo ostati le pri analizi naravnih pojavov, ampak moramo seči tudi na družbenogeografsko področje. Takšno kompleksno gledanje, ki ga omogoča prav geografski informacijski sistem, je prav gotovo v samem središču raziskovanja zemeljske pokrajinske stvarnosti.

5 Viri in literatura

Buser, S. 1986: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, list Tolmin in Videm (Udine). Beograd.

Gavrilović, S. 1962: Proračun srednje-godišnje količine nanosa prema potencijalu erozije. Glasnik šumarskog fakulteta 26. Beograd.

Gavrilović, S. 1970: Savremeni načini proračunavanja bujičnih nanosa i izrada karata erozije. Erozija, bujični tokovi i rečni nanos. Beograd.

Gavrilović, S. 1972: Inženjering o bujičnim tokovima i eroziji. Beograd.

Gavrilović, Z. 1988: The use of empirical method (erosion potential method) for calculating sediment production and transportation in unstudied or torrential streams. International Conference on River Regime. Chichester.

Gavrilović, Z. 1994: Važnost laboratorijskih testova tokom eksperimentalnog istraživanja erozije zemljišta. Navodnjavanje i odvodnjavanje u Srbiji: zbornik radova savetovanja. Svilajnac.

Globevnik, L., Holjević, D., Petkovšek, G., Rubinić, J. 2003: Applicability of the Gavrilović method in erosion calculation using spatial data manipulation techniques. Erosion prediction in ungauged basins: integrating methods and techniques. IAHS publication 279. Wallingford, Oxfordshire.

Hrvatin, M., Komac, B., Perko, D., Zorn, M. 2006: Slovenia. Soil erosion in Europe. Chichester.

Idrisi 32.2. 1987–2002. Clark Labs, Clark University, Worcester.

Jurkovšek, B. 1987: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, list Beljak in Ponteba. Beograd.

Klaghofer, E., Hintersteiner, K., Summer, W. 2002: Trends in soil erosion and sediment yield in the alpine basin of the Austrian Danube. Modelling erosion, sediment transport and sediment yield. Paris.

Komac, B., Zorn, M. 2005: Soil erosion on agricultural land in Slovenia – measurements of rill erosion in the Besnica valley. Acta geographica Slovenica 45-1. Ljubljana.

Komac, B., Zorn, M. 2007: Pobočni procesi in človek. Geografija Slovenije 15. Ljubljana.

Lazarević, R. 1968a: Erozija u slivu Gvozdačke reke – prilog metodici za izradu karte erozije. Glasnik Srpskog geografskog društva 49-2 Beograd.

Lazarević, R. 1968b: Naučno-istraživački rad i problemi u oblasti borbe protiv erozije i bujičnih tokova. Materijali sa simpozijuma o problemima erozije u SR Srbiji. Beograd.

Lazarević, R. 1985: Novi postupak za odredjivanje koeficijenata erozije (Z). Erozija – stručno-informativni bilten 13. Beograd.
Mikoš, M., Fazarinc, R., Ribičič, M. 2006: Sediment production and delivery from recent large landslides and earthquake-induced rock falls in the Upper Soča River Valley, Slovenia. Engineering geology 86. Amsterdam.
Pedološka karta Slovenije 1 : 25000. 1999. Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani, Center za pedologijo in varstvo okolja. Ljubljana.
Petek, F. 2005a: Typology of Slovenia's Alpine region with emphasis on land use and changes in land use. Acta Geographica Slovenica 45-1. Ljubljana.
Petek, F. 2005b: Spremembe rabe tal v slovenskem alpskem svetu. Geografija Slovenije 11. Ljubljana.
Petek, F., Fridl, J. 2004: Pretvarjanje listov zemljiško-katastrskega načrta v Gauss-Krügerjev koordinatni sistem. Geografski vestnik 76-2. Ljubljana.
Petek, F., Urbanc, M. 2004: The Franziscean Land Cadastre as a Key to Understanding the 19th-century Cultural Landscape in Slovenia. Acta geographica Slovenica 44-1. Ljubljana.
Petkovšek, G. 2000: Procesno utemeljeno modeliranje erozije tal. Acta hydrotechnica 18–28. Ljubljana.
Pintar, J., Mikoš, M., Verbovšek, V. 1986: Elementi okolju prilagojenega urejanja vodotokov: alternativa utesnjevanju živih naravnih procesov v toge objekte. Drugi kongres o vodama Jugoslavije. Beograd.
Pintar, J., Fazarinc, R., Mikoš, M. 1990: Hribine: kvalitativna in kvantitativna razdelava lastnosti za Slovenijo značilnih hribin in zemljin. Ljubljana.
Podobnikar, T., Stančič, Z., Oštir, K. 1996: Erozijski model otoka Brača. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1995–1996. Ljubljana.
Raba kmetijskih zemljišč, različica 1.0. 2002. Ljubljana.
Staut, M. 2004: Recentni erozijski procesi v porečju Dragonje. Diplomsko delo. Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
Van Rompaey, A., Govers, G., Verstraeten, G., Van Oost, K., Poesen, J. 2003: Modelling the Geomorphic Response to Land Use Changes. Long Term Hillslope and Fluvial System Modelling – Concepts and Case Studies from the Rhine River Catchment. Lecture Notes in Earth Sciences 101. Berlin.
Vente de, J., Poesen, J. 2005: Prediction Soil Erosion and Sediment Yield at the Basin Scale: Scale Issues and semi-quantitative models. Earth-Science Reviews 71. Amsterdam.
Wischmeier, W. H., Smith, D. D. 1965: Predicting Rainfall-Erosion Losses from Cropland East of Rocky Mountains. USDA Agricultural Handbook 282. Washington.
Zorn, M. 2007a: Recentni geomorfni procesi na rečno-denudacijskem reliefu na primeru porečja Dragonje. Doktorsko delo. Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
Zorn, M. 2007b: Ali se zavedamo hitrosti erozijskih procesov – primer iz slovenske Istre. Dela 28. Ljubljana.
Zorn, M., Komac, B. 2005: Erozija prsti na kmetijskih zemljiščih v Sloveniji. Ujma 19. Ljubljana.
Zupančič, B. 1995: Klimatografija Slovenije za obdobje 1961–1990: padavine. Ljubljana.

LASERSKO SKENIRANJE ŽELEZNE JAME IN MOŽNOSTI UPORABE ZAJETIH PODATKOV

dr. Dušan Petrovič, mag. Dejan Grigillo, dr. Mojca Kosmatin Fras
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani
dusan.petrovic@fgg.uni-lj.si, dejan.grigillo@fgg.uni-lj.si, mfras@fgg.uni-lj.si

Jure Gnilšek
Geodetski zavod Celje d. o. o.
jure.gnilsek@gz-ce.si

Rok Vezočnik
DFG CONSULTING d. o. o.
rok.vezocnik@dfgcon.si

UDK: 528.7(497.451)
COBISS: 1.16

IZVLEČEK
Lasersko skeniranje Železne jame in možnosti uporabe zajetih podatkov
Železna jama je ena manjših slovenskih turistično urejenih kraških jam na območju domžalsko-moravškega osamelega krasa. V letu 2007 smo izvedli lasersko skeniranje jame z inštrumentom Riegl LMS-Z420i. Sočasno smo za navezavo meritev na državni koordinatni sistem izvedli geodetsko izmero veznih, oslonilnih točk ter poligona do bližnje Babje jame. Na osnovi dobljenih podatkov izmere smo smo izdelali trirazsežni model jame, ki smo ga umestili v model okoliške topografije terena. Izdelana je bila tudi računalniška animacija – virtualni sprehod po modelu iz zunanjosti v jamo. V projektu smo združili znanje pedagoško raziskovalne sfere in geodetskih podjetij. Pokazali smo možnost uporabe sodobne tehnike laserskega skeniranja v primeru izjemno kompleksnih in detajlnih ploskev, s kakršnimi niti v Sloveniji niti v svetu še ni veliko izkušenj pri obdelavi.

KLJUČNE BESEDE
terestrično lasersko skeniranje, podzemna jama, kras, trirazsežni model

ABSTRACT
Laser scanning of Železna jama and potentials for application of captured data
Zelezna jama is one of the smallest Slovenian tourist settled karstic caves in the Domžale-Moravče isolated karst region. In the year 2007, laser scanning of the cave has been done with the instrument Riegl LMS-Z420i, together with the geodetic surveying of tie points, control points and a polygon to near Babja jama, referenced to the national coordinate system. Based on surveyed data a three-dimensional model of the cave has been generated and adjusted into the near topographic terrain model. In addition, computer animation has been produced as a virtual stroll around the model, starting from the outside and entering into the cave. Knowledge of educational-research sphere and geodetic enterprises has been gathered in this project. We have shown an application of the laser scanning technique in an example of extremely complex and detailed surface. There is not much experience, neither in Slovenia nor in the world, to process such surfaces.

KEY WORDS
terrestrial laser scanning, underground cave, karst, three-dimenzional model

1 Uvod

Podzemske jame so pomemben del okolja. Čeprav so opazovalcu na površju Zemlje večinoma prikrite, z izjemo vhodnih brezen in dvoran, pa imajo velik pomen. V preteklosti so prednikom služile predvsem kot zatočišče in skrivališče pred plenilci, sovražniki ali vremenskimi ujmami, v bližnji preteklosti tudi kot skrivališča opreme in strateškega materiala. Danes so nekatere jame turistična zanimivost, lahko so pomemben vir pitne vode, vse jame pa so del naravne dediščine. Vsestranski pomen jam pa tudi želja po raziskovanju so jamske raziskovalce že od nekdaj vodili v odkrivanje jam, ki se jim je kmalu pridružilo tudi čim bolj podrobno evidentiranje jam. Jamske meritve se tradicionalno izvajajo s pomočjo merjenj azimutov z busolo, naklonov s klinomerji in dolžin z merskimi trakovi (Perpar 1993). Glede na kompleksnost in detajlnost podzemnih jamskih prostorov so takšne meritve lahko zajele le osnovno geometrijo jame, večinoma so se jamomerci zadovoljili z osnovnim in kakšnim stranskim poligonom. Skico jame okoli izmerjenega poligona so praviloma zarisali na osnovi vidne interpretacije oblike jamskih prostorov, jamo pa prikazovali dvorazsežno z različno usmerjenimi pogledi – z narisom in različnim številom višinskih prerezov. Vsekakor je bila takšna slika subjektivna in z geometrijskega vidika nenatančna. V 80-ih letih 20. stoletja srečujemo prve primere računalniško izdelanih modelov jam v CAD orodjih (Neumann 2000). Bistven problem izdelave tovrstnih trirazsežnih modelov predstavljajo prav zelo pomanjkljivi merski podatki, ki tudi skupaj s skicami jame v raznih pogledih ne omogočajo zadostne iz zanesljive interpretacije vseh kompleksnih oblik jamskih prostorov. Zaradi tega so tovrstni modeli zelo generalizirani in kot takšni uporabnikom neprivlačni in slabo prepoznavni.

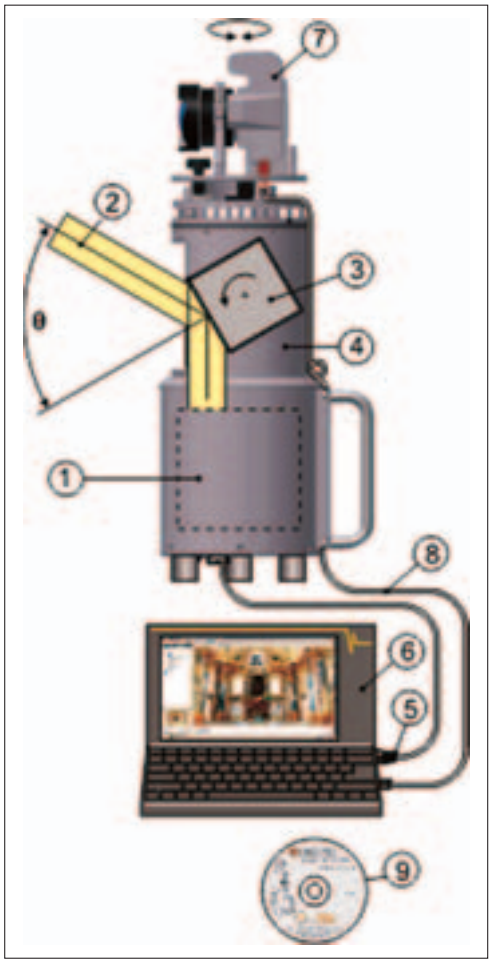
Tehnika laserskega skeniranja s svojo možnostjo meritve poljubnih oblik je zato za samo izmero jam že od začetka predstavljala zanimivo možnost. Prvo izmero jamskega prostora podzemne kraške jame so opravili leta 1999 v Oregonskih jamah v ZDA (Wierzbinski 1999). V treh dneh merjenja so zajeli 38 milijonov točk, a se je zataknilo pri uporabi ustrezne programske opreme za obdelavo in modeliranje takšnega obsega tovrstnih podatkov. Verjetno tudi zato srečamo naslednja merjenja jamskih prostorov, ki jim sledi obdelava in izdelava trirazsežnih modelov, šele od leta 2003 naprej (Mavsar 2005; medmrežje 2–5).

Železna jama je ena manjših slovenskih turistično urejenih kraških jam na območju domžalsko-moravškega osamelega krasa. Ideja za skeniranje omenjene jame se je porodila iz želje, da bi študentom geodezije praktično predstavili tehnologijo laserskega skeniranja. Jamarsko društvo Simon Robič iz Domžal nam je dovolilo snemanje jame in priskrbelo obstoječe jamske načrte, član društva Aleš Stražar pa nam je ob terenskem ogledu jame predstavil značilnosti in zanimivosti jame. Poleg avtorjev tega članka je v projektu sodelovala skupina študentov 4. letnika univerzitetnega študija geodezije, ki je ob mentorski pomoči obdelala meritve in izdelala model ter animacijo. Rezultat te prve faze projekta je tehnično poročilo in trirazsežni model, pridobljeni podatki pa bodo služili za nadaljne študijske obdelave in izdelke, ki so opisani v poglavju 6.

2 Opis tehnologije laserskega skeniranja in primeri uporabe

Terestrično lasersko skeniranje predstavlja visoko učinkovito metodo zajema prostorskih podatkov bodisi iz zraka (aero lasersko skeniranje, ALS), bodisi s fiksnih stojišč na zemeljski površini ali v njeni neposredni okolici (terestrično lasersko skeniranje, TLS). Laserski skenerji omogočajo neposredno določitev trirazsežnega položaja ogromne množice točk v polarnem koordinatem sistemu inštrumenta. Poleg dveh prostorskih kotov (horizontalnega in vertikalnega kota) se registrira še dolžina (evklidska oz. najkrajša razdalja) do posamezne objektne točke ter navadno tudi intenziteta odboja.

Osnovni mehanizem, ki skenerjem omogoča zgoraj opisan način zajema, temelji na viru laserske svetlobe, ki preko vrteče se prizme ali zrcala (oznaka 3 na sliki 1) ter rotirajoče glave (oznaka 4 na sliki 1) pošilja žarke v prostor (oznaka 2 na sliki 1). Poleg oddajnega sistema imajo ti inštrumenti tudi sprejemne senzorje, ki omogočajo registriranje odbitih žarkov.



Slika 1: Mehanizem delovanja (www.riegl.com).

Večino komercialnih skenerjev lahko razdelimo v dve veliki skupini, in sicer glede na način izmere evklidske razdalje skener-objektna točka:
- impulzni laserski skenerji (angl. *time of flight*) in
- fazni laserski skenerji (angl. *phase shift*).

Fazni laserski skenerji so glede natančnosti izmere posameznih prostorskih razdalj precej natančnejši od impulznih, vendar imajo po drugi strani glede na slednje krajši doseg. Poleg načina izmere razdalj ter dosega se skenerji ločijo tudi glede na:
- maksimalni in minimalni vertikalni/horizontalni kot,
- minimalno kotno ločljivost zajema,
- število meritev na enoto časa,
- divergenco laserskega žarka,
- valovno dolžino laserske svetlobe,
- natančnostjo izmere posamezne točke,
- dimenzije in težo ter
- dodatno opremo (npr. digitalni fotoaparat)

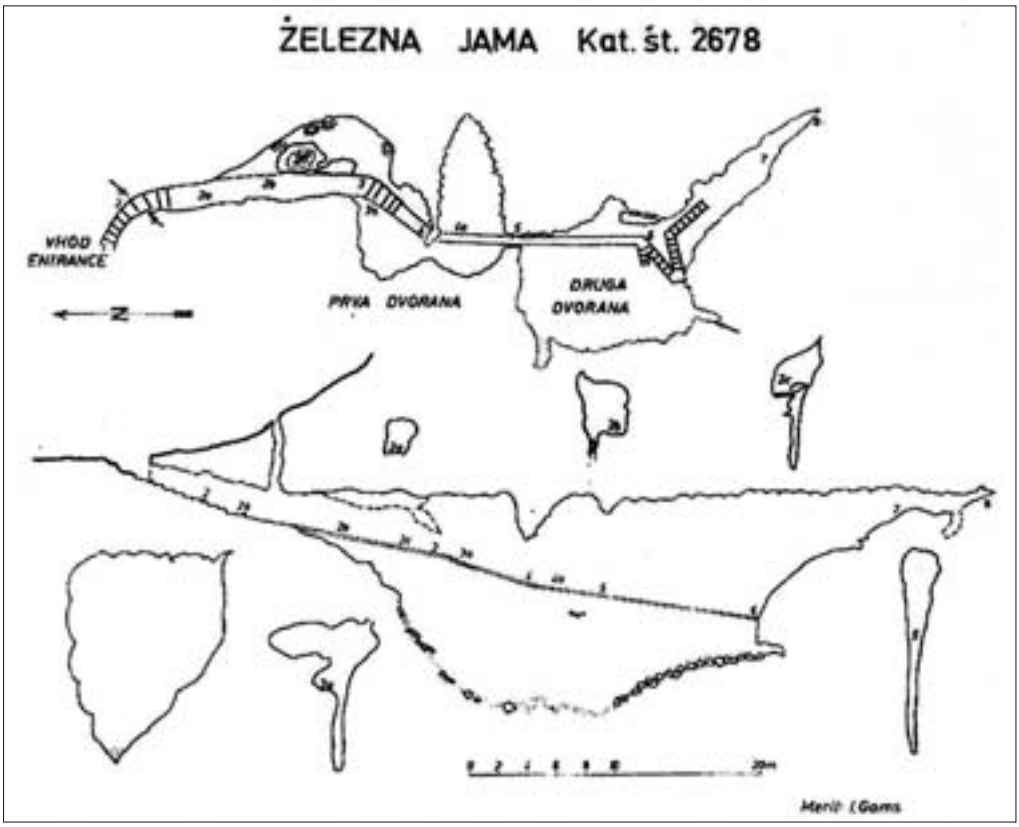
Pri izbiri ustreznega inštrumentarija za določeno nalogo je zato potrebno upoštevati tehnične karakteristike ter načine oz. omejitve delovanja, kar neposredno vpliva na potek dela.

Tehnologija laserskega skeniranja prodira v zadnjem času na številna področja zajema in evidentiranja oblike in spremembe zemeljskega površja (npr. spremljanje odkopov v kamnolomih, izdelava digitalnega modela reliefa, evidentiranje zemeljskih plazov …), na področje arhiviranja objektov kulturnega pomena ter nenazadnje tudi na izvedbeno zahtevnejša dela v inženirstvu (deformacijske analize grajenih objektov, tunelov, mostov).

2.1 Stanje tehnologije v Sloveniji

V Sloveniji predstavlja tehnologija laserskega skeniranja dokaj novo tehnologijo zajema podatkov, predvsem kar se tiče ponudnikov in palete izdelkov, ki so na voljo. Kljub temu je metodologija sama že nekaj časa tudi pri nas poznana, vendar se šele v zadnjem času razmeroma hitro vključuje tudi v izvedbeno delo in postaja konkurenčna drugim, predvsem klasičnim metodam zajemanja prostorskih pojavov. Tudi pri nas se že izvajata tako aero kot tudi terestrično lasersko skeniranje, zanimanje za najrazličnejše izdelke s strani širokega kroga uporabnikov je veliko.

3 Terensko delo in priprava kartografskih virov



Slika 2: Jamarski načrt Železne jame (Jamarsko društvo Simon Robič Domžale).

Pri pripravi terenskega ogleda jame sta nam služila jamarski načrt (slika 2) in opis jame. Na ogledu terena, okolice jame in same jame smo predvideli obseg del na terenu. V Železni jami smo izbrali pet stojišč za geodetsko snemanje in šest stojišč za lasersko skeniranje jame.

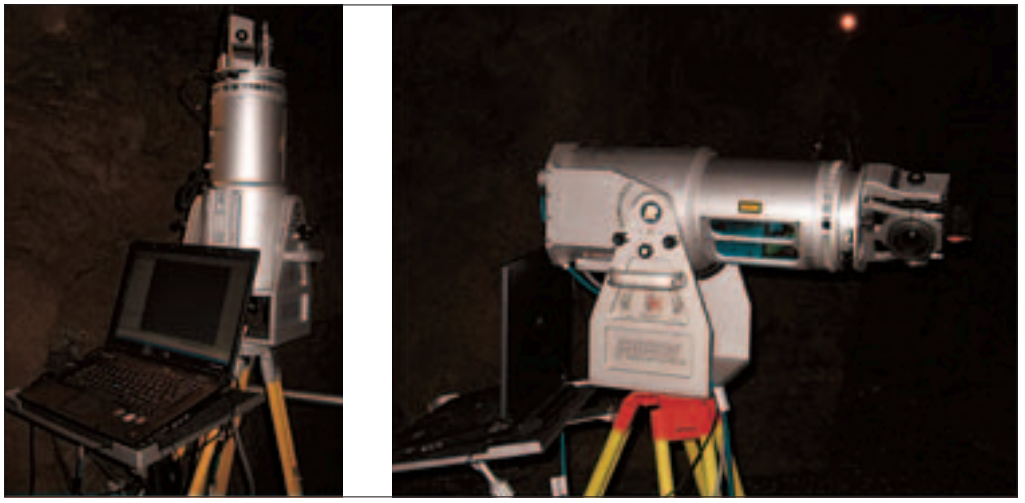
Pri Geodetski upravi Republike Slovenije smo pridobili potrebne vire za navezavo meritev v državni koordinatni sistem in za nadaljnjo kartografsko obdelavo podatkov: geodetske točke za umestitev jame v državni koordinatni sistem, ortofoto DOF 5 list E2418, digitalni model višin DMV 12,5 in kataster stavb. Pridobljene podatke smo izrezali na območje jame (koordinata Y: 109.000 m–112.000 m; koordinata X: 470.750 m–473.000 m).

3.1 Terestrično snemanje v okolici jame

Terestrično snemanje v jami in okolici smo opravili s teodolitom Nikon DTM-320 z nominalno natančnostjo 5" za merjenje horizontalnih in vertikalnih kotov in natančnostjo razdaljemera ± 3 mm + 3 ppm. Meritve smo opravili v državnem koordinatnem sistemu. Kot izhodiščno točko smo uporabili točko 90044 pri gradu Krumperk, ki je stabilizirana z granitnim kamnom. Za začetno orientacijo smo izbrali anteni v Domžalah in na Krvavcu ter cerkev na Taboru. V Železno in Babjo jamo smo izmerili slepa poligona, s katerima smo posneli poti in skrajni točki obeh jam. V Železni jami smo posneli štirinajst oslonilnih točk, ki so služile za navezavo laserskih meritev v državni koordinatni sistem. Pri meritvah v jami smo imeli kar nekaj težav zaradi pomanjkanja svetlobe in težke postavitve instrumenta. Zaradi slabe medsebojne vidnosti točk smo v Železni jami, kljub njeni relativni majhnosti, stabilizirali pet poligonskih točk.

3.2 Terestrično lasersko skeniranje jame

Terestrični sistem za skeniranje RIEGL LMS-Z420i je sestavljen iz zmogljivega laserja dolgega dosega, povezane programske opreme RiSCAN PRO ter kalibrirane in definitivno orientirane digitalne kamere visoke ločljivosti. Sistem zagotavlja podatke iz katerih lahko z avtomatsko ali polavtomatsko obdelavo skenogramov in podob pridobimo izdelke kot so TIN ploskve s teksturami ali ortofoto z informacijo o globini. RIEGL LMSz-Z420i je robusten in prenosen senzor izdelan posebej za hiter zajem visoko kakovostnih trirazsežnih podob tudi v zahtevnih vremenskih razmerah in predstavlja učinkovito kombinacijo širokega zornega polja, velikega dosega in hitrega zajema podatkov.



Slika 3: Terestrični laserski skaner RIEGL LMS-Z420i, pokončen in nagnjen položaj (90°) (www.riegl.com).

Skener je za oči varen sistem za upodobitev površin (laser razreda 1) na osnovi natančnih meritev razdalje s pomočjo elektro-optičnega razdaljemera in dvoosnega žarkovnega mehanizma za skeniranje. Modul za merjenje razdalj meri čas potovanja kratkih infrardečih laserskih pulzov. Specificirana natančnost meritev razdalje je 8 mm ± 20 ppm.

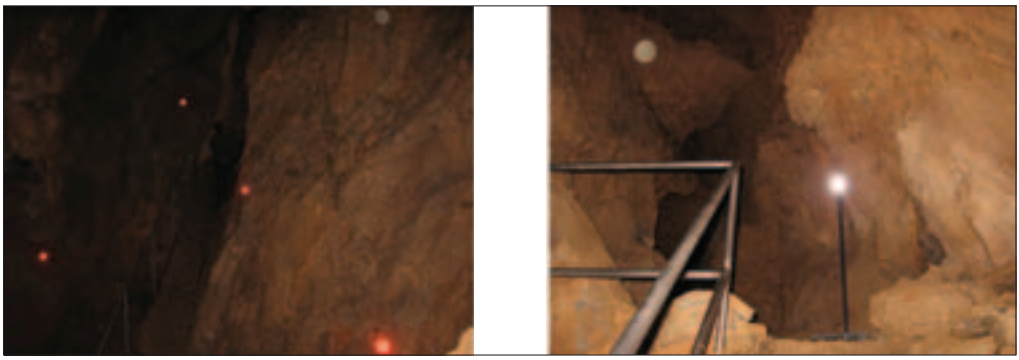
Pred samo izvedbo skeniranja je pomembno dobro opredeliti uporabniške potrebe glede končnega izdelka ali skupine izdelkov. Spremenljivke, ki so seveda odvisne tudi od objekta skeniranja so:
- čas skeniranja,
- lokacije stojišč,
- izbor parametrov (začetni kot, končni kot, gostota točk, fokus laserskega žarka),
- uporaba mehanskega nagiba,
- uporaba posebnih nosilcev, prevoznih sredstev,
- razdalja do ploskve zajema,
- filtriranje gibljivih objektov (avtomobili, pešci …) (Riegl 2006).

V primeru skeniranja Železne jame pri Domžalah je bil kompromis sklenjen predvsem v številu stojišč skenerja. Jama je zelo razgibana in bi za popoln posnetek vseh sten s podrobnostmi potrebovali večje število stojišč. Izbrana stojišča so zagotovila dovolj podatkov za določitev oblike jame in izdelavo trirazsežnega modela, kar je bil ključni cilj prve faze izvedbe. Pri izbiri stojišč je potrebno biti pozoren predvsem na obseg vidnega polja skenerja in na vidnost zadostnega števila veznih točk. Da lahko skenograme medsebojno poravnamo, morajo biti iz vsakega stojišča podrobno skenirane vsaj 3 skupne vezne točke. Za umestitev v državni koordinatni sistem je potrebno vsaj trem veznim točkam, vidnim iz istega stojišča, določiti Gauss-Krügerjeve koordinate. V našem primeru smo s tahimetrom izmerili in izračunali Gauss-Krügerjeve koordinate vsem veznim točkam, ker bomo te podatke uporabili za podrobnejšo oceno natančnosti izvedenih laserskih meritev.

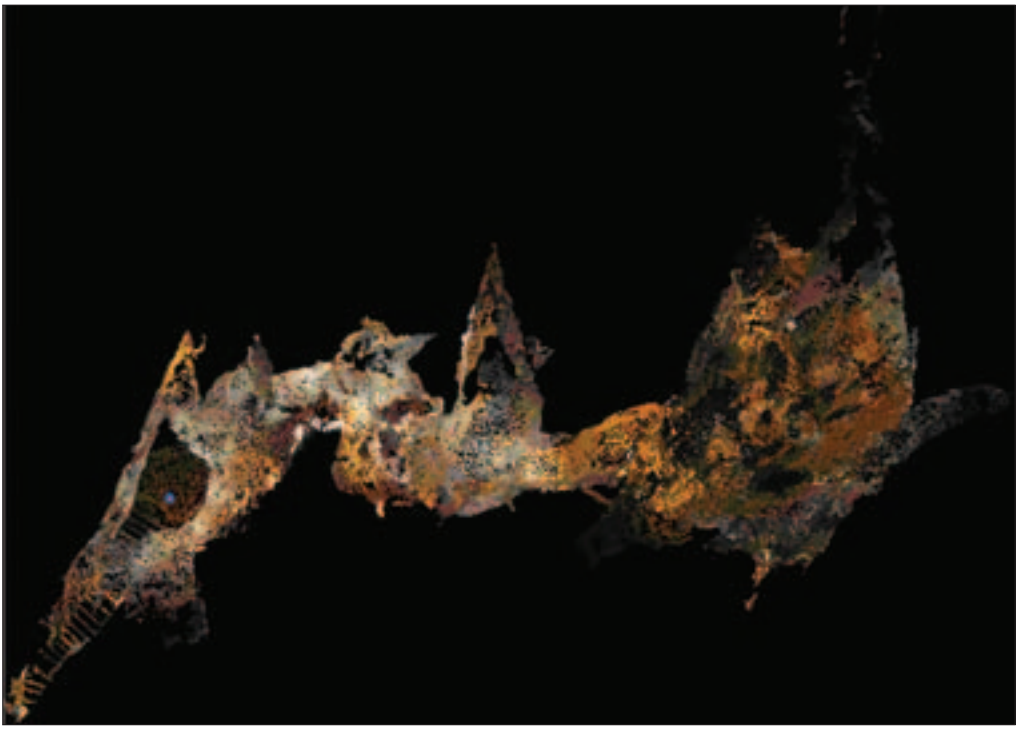
Na štirih stojiščih je bila izkoriščena možnost mehanskega nagiba skanerja (vertikalni nagib 0° do 90°, s korakom 5°). Z nagnjenim skenerjem so bili stropi in tla jame enostavno in hitro zajeti. Na vsakem stojišču so bile zajete tudi fotografije v celotnem območju skaniranja, kar je v nadaljnji obdelavi omogočilo obarvanje oblaka točk ter nanos tekstur na izdelan TIN model.

4 Obdelava podatkov

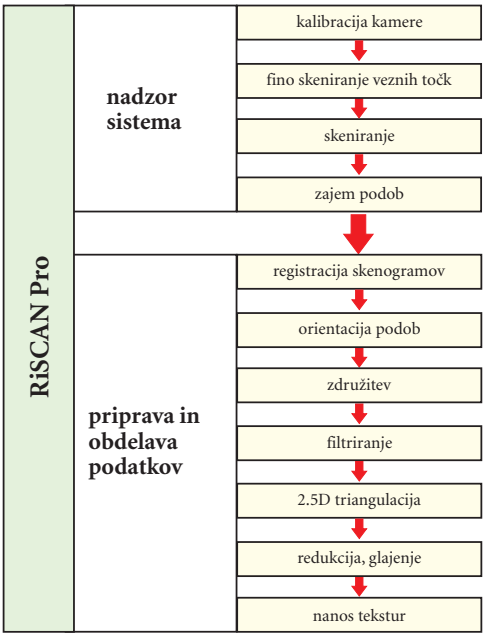
Za nadzor skenerja in osnovno obdelavo podatkov je bila uporabljena programska oprema RiSCAN Pro. Program omogoča operaterju 3R laserskega senzorja nastavitev skenerja, zajem podatkov, upodobitev, obdelavo in arhiviranje podatkov. RiSCAN Pro je objektno orientiran. Vsi podatki so shranjeni v enotni mapni strukturi, ki vsebuje vse podatke skeniranja, kalibrirane podobe, podatke



Slika 4: Postavljene vezne točke – retroreflektivne tarče, nalepke in valji.



Slika 5: Združen oblak točk.



Slika 6: Potek dela z RiSCAN Pro.

o registraciji, dodatne opise in obdelave. Preko prenosnega računalnika opreme lahko uporabnik pridobiva visoko kakovostne trirazsežne podatke neposredno na terenu in izbira med več vrstami funkcij za registracijo, obdelavo in izvoz podatkov (Riegl 2006).

Prav tako, kot se določi zunanja orientacija pritrjene kamere, se lahko tudi skenogrami medsebojno poravnajo in umestijo v državni koordinatni sistem že na terenu. Tak pristop omogoča sprotno analizo izvedenega, identifikacijo potrebnih dopolnitev in določitev novih stojišč, ter odkrivanje morebitnih napak v meritvah. Registracija je bila opravljena s pomočjo izmerjenih kontrolnih točk.

Poravnane skenograme obarvamo s pripadajočimi kalibriranimi podobami po posameznih stojiščih in jih združimo v en sam oblak točk (slika 5).

S filtriranjem homogeniziramo gostoto in zmanjšamo število točk, kar pride do izraza predvsem v neposredni bližini skenerja, kjer je gostota točk večja od želene. Pri skeniranju imamo pogosto v vidnem polju ovire, ki jih zajamemo skupaj z objektom skeniranja. Te točke iz oblaka odstranimo z ročno izbiro.

Očiščen oblak točk triangulirамo po delih, saj programska oprema omogoča zgolj 2.5D triangulacijo glede na izbrano ravnino. Posamezne dele določimo glede na morfologijo jame in razpoložljivost fotografij, ki jih nameravamo uporabiti kot teksture 3D modela. Pridobljeno neenakomerno mrežo trikotnikov (TIN) reduciramo na želeno gostoto točk, zgladimo in dodamo teksture za bolj kakovostno upodobitev. Program omogoča tudi izdelavo animacije in izvoz podatkov za prikaz in uporabo v drugih programskih paketih.

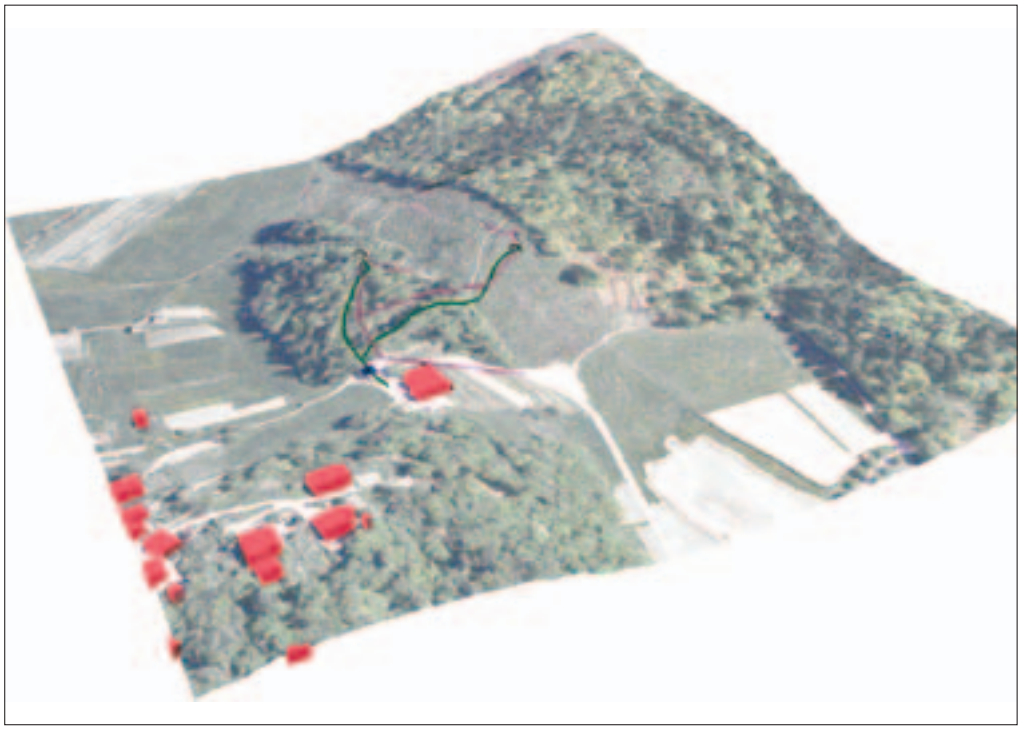
Potek dela po fazah v programu RiscanPro je prikazan v prvi shemi.

5 Izdelki

Rezultat obdelave izvornih podatkov je trirazsežni trikotniški model notranjega obrisa jamskih prostorov (slika 6). Že v osnovni izvedbi predstavlja mnogo boljši geometrijski približek dejanski podobi jame kot vse dosedanje skice jame, vendar pa ne vsebuje podatkov o nekaterih značilnih delih jame, kot so podlaga, geološke strukture ipd.

Zato je tako za inventarizacijo same jame kot tudi za predstavitev uporabnikom mnogo ustreznejši model, na katerega so nalepljeni posnetki jame, narejeni sočasno z laserskim skeniranjem iz istih stojišč. V obeh primerih opisanih modelov se jasno vidijo omejitve in pomanjkljivosti. Podzemska jama je zara-

Slika 7: Trirazsežni trikotniški model obrisa jamskih prostorov.



Slika 8: Upodobitev topografskih podatkov in modela jame.

di komleksnosti svojih oblik prezapletena, da bi jo bilo mogoče v celoti zajeti iz izmeriti iz zgolj nekaj stojišč in tako na modelih vidimo luknje in sence. Pri teh imamo dvoje možnosti – lahko s ciljem zapolnitve trirazsežnega modela vse manjkajoče dele modela zapolnimo, tako da interpoliramo manjkajoče ploskve oz ocenimo ekstremne vrednosti, z vidika pravilnosti in zanesljivosti modela pa je še bolje, da dele modela, za katere nimamo podatkov, pustimo prazne. Drug problem predstavljenih modelov je geometrijska odsotnost detajlov, drobnih kapniških in skalnih jamskih oblik. Trikotniški model je bil zgrajen iz generaliziranega oblaka točk gostote 5 cm krat 5 cm krat 5 cm, velikosti detajlov v jami pa so seveda bistveno manjše in jih torej s tako grobim modelom ni mogoče ustrezno prikazati.

Drugi izdelek, ki so ga pripravili študentje v okviru seminarske naloge pa predstavlja umestitev modela jame v širšo topografijo terena. Odločili smo se za območje naselja Gorjuša z gradom Krumperk in Jamarskom domom na Gorjuši, kjer se nahaja Jamarska zbirka in od koder poteka pešpot do same Železne jame. Prav tako model vsebuje tudi bližnjo Babjo jamo. Celotna velikost modela tako znaša 500 m krat 500 m. Glede na večje območje obdelave in posledično manjša merila prikaza je zahtevana podrobnost podatkov v tovrstnem modelu manjša in predhodno opisan trikotniški model jame je v ta namen zadoščal. Njegova orientacija v državni koordinatni sistem je bila zagotovljena z opisano klasično terestrično meritvijo v poglavju 3.1. Pri izdelavi topografskega modela so bili uporabljeni model reliefa, prekrit z ortofotom ločljivosti 0,5 m. Grajeni objekti so privzeti iz katastra stavb in prikazani kot trirazsežno objekti z višino, pridobljeno iz atributnega podatka katastra stavb. Dodana je bila še vektorska sled izmerjenega poligona med obravnavanimi objekti in seveda model same Železne jame, ki v celoti leži pod ravnijo terena. Zaradi tega je pri predstavitvi modela teren prosojen, s čimer je omogočena vidnost modela jame. Sam model je bil vzpostavljen in obdelan v orodju ArcScene (slika 7), s ciljem privlačnejše predstavitve pa je bila izdelana tudi krajša animacija.

6 Prihodnji načrti

Opisani izdelki predstavljajo najosnovnejšo možnost uporabe izmerjenih podatkov in zgolj neposredni prikaz rezultatov opravljenih meritev. Seveda pa so možnosti različnih izdelkov iz tako obsežnih rezultatov meritve še mnogotere in v nadaljnji obdelavi predvidevamo pripravo še nekaterih. Predvsem bomo skušali s selektivno generalizacijo izvornih rezultatov meritev za eno izmed jamskih dvoran ali pa morda zgolj za kapniško zanimiv del posamezne jamske dvorane pripraviti podrobnejši, realnosti čim bolj prilagojen model. Ta bi lahko služil kot primer dokumentiranja jamske dediščine. Z več takšnimi realističnimi modeli bi vzpostavili realnosti čim bližji združeni model jame in uporabnikom omogočili navidezni sprehod po jami.

Drug predviden izdelek je priprava projekta preboja med Železno in Babjo jamo. Turistični obisk Železne jame poteka tako, da obiskovalci vstopajo skozi umetno narejen vhod v vhodno dvorano in preko mostu preidejo v glavno dvorano. Po ogledu se morajo vrniti po isti poti. Jamarsko društvo Simon Robič iz Domžal, ki skrbi za jamo, bi rado naredilo krožno pot skozi jamo, s čimer bi se lahko število obiskovalcev povečalo, pa tudi sam obisk bi bil za obiskovalce bolj zanimiv. Dodatno bi tako obiskovalci prehodili še krajšo Babjo jamo, znano po najdbah orodja kamenodobnega človeka. Po predvidevanjih jamarjev na osnovi jamskih meritev naj bi si bili skrajni točki obeh jam le okoli 15 m narazen. Natančna geodetska meritev poligona v obeh jamah bo omogočila natančno določitev medsebojne razdalje, višinske razlike in smeri, v kateri bi bilo treba izvesti morebitni prekop. Prav tako bi nato tudi za tovrstno povečano jamo izdelali skupni model in pripravili navidezni obisk obeh povezanih jam.

7 Sklep

Projekt laserskega snemanja Železne jame in priprava vseh naštetih izdelkov je obsežen projekt, v katerem smo združili znanje pedagoško raziskovalne sfere in geodetskih podjetij. Pokazali smo možnost uporabe sodobne tehnike laserskega skeniranja v primeru izjemno kompleksnih in detajlnih ploskev, s kakršnimi niti v Sloveniji niti v svetu še ni veliko izkušenj. Pomembno je, da smo v celoten postopek, od priprave projekta, preko samega snemanja do obdelave rezultatov aktivno vključili študente, ki so se tako že v času študija aktivno seznanili z najsodobnejšo tehnologijo. Zaradi majhnosti slovenskega prostora ugotavljamo, da je prav takšen način izvajanja razvojnih nalog, kjer zainteresirani partnerji združimo vse razpoložljive vire (inštrumentarij, programsko opremo, kadre, prostor) optimalen in najustreznejši, s katerim lahko stopimo ob bok dosežkom večjih in kadrovsko močnejših inštitucij v mednarodnem prostoru.

8 Viri in literatura

Mavsar, P. 2005: Izdelava 3R virtualnega modela kraške jame iz podatkov terestričnega laserskega skeniranja. Diplomska naloga, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.

Medmrežje 1: http://www.riegl.com/terrestrial_scanners/lms-z420i_/420i_all.htm (3. 2. 2008).

Medmrežje 2: http://research.gg.uwyo.edu/kincaid/3dcave.htm (21. 2. 2008).

Medmrežje 3: http://www.tcmacaves.org/lidar/index.html (21. 2. 2008).

Medmrežje 4: http://bcra.org.uk/pub/candks.oldformat/v30_3.html#papers (21. 2. 2008).

Medmrežje 5: http://www.eepublishers.co.za/view.php?sid=2020 (21. 2. 2008).

Neumann, A. 2000: Contributions to Computer-Assisted Cave Mapping and 3D-Visualization of Cave Systems. Proceedings of High Mountain Cartography Workshop, Rudolfshuette, Austria.

Perpar, I. 1993: Jamski kataster – jamarska zveza Slovenije. Diplomska naloga, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.

Riegl, 2006: Terrestrial laser scanner LMS-Z420i, Technical documentation and user instructions. Horn: Riegl LMS.
Wierzbinski, B. A. 1999: Out of the Dark Ages; Point of Beggining, July 1999. Business News Publishing Co.

KARTIRANJE POPLAVNO OGROŽENIH OBMOČIJ V SKLADU Z NOVO ZAKONODAJO V SLOVENIJI

Gašper Rak, dr. Franci Steinman, mag. Leon Gosar
Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani
grak@fgg.uni-lj.si, fsteinma@fgg.uni-lj.si, lgosar@fgg.uni-lj.si

UDK: 556.166:528.9(497.4)
COBISS: 1.17

IZVLEČEK
Kartiranje poplavno ogroženih območij v skladu z novo zakonodajo v Sloveniji
Naraščajoč trend pogostosti in intenzitete poplavnih dogodkov ter vse pogostejši posegi človeka v obvodni prostor in poplavne ravnice so vzroki, da poplave sodijo med najbolj uničujoče ujme. Za učinkovitejše obvladovanje tveganj, povezanih z vodami, je bil v letu 2007 v Sloveniji sprejet nov pravilnik za določanje poplavno ogroženih območij, na katerih je, glede na stopnjo poplavne nevarnosti, določene na podlagi več faktorjev, omejena raba prostora. Prispevek prikazuje inovativno metodologijo za natančnejše kartiranje poplavne nevarnosti, ki poleg hidrometeoroloških parametrov, za modeliranje gladin uporablja tudi novejše možnosti neposredne povezave hidravličnega modela z GIS.

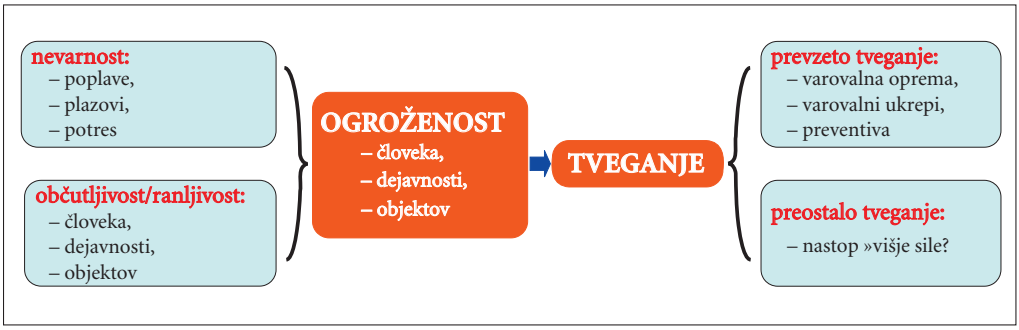
KLJUČNE BESEDE
poplavna nevarnost, ranljivost, poplavna ogroženost, kartiranje, zakonodaja

ABSTRACT
Flood hazard mapping based on the new Guidline in Slovenia
Increasing trend of a frequency and intensity of flood phenomenon and also even more frequent human encroachment in a water-corridors and floodplains are main reasons for flood being one of most serious disaster. For more effective flood risk management Slovenia passed new rules on the methodology for determination of flood hazard and risk areas, where respecting to level of flood risk, assessable on base of several criterions, spatial use limitations are imposed. Paper presents innovative methodology for more detailed mapping of flood prone areas, which beside hydro-meteorological parameters takes in calculations also up-to-date integration hydraulic model with GIS.

KEY WORDS
flood hazard, vulnerability, flood risk, mapping, legislation

1 Uvod

Slovenijo od vseh ujm najbolj ogrožajo nevarnosti povezane z vodotoki. Glede na to, da leži na prehodu Alpskega sveta v nižinski Panonski svet, se ta nevarnost pojavlja tako ob hudourniških strugah hribovitih območij kot tudi ob vodotokih na ravninskih območjih. V Sloveniji kar 7 % ljudi živi na območjih, kjer so poplave običajen pojav, in 24 % prebivalstva na območju velikih poplav (Penca s sodelavci 1999, 296). Na številne poplave v veliki meri vpliva velika humidnost Slovenije, predvsem v zahodnem hribovitem delu. Vzrok, da poplave sodijo med najbolj uničujoče ujme, je na eni strani naraščajoči trend pogostosti in intenzitete pojavov, na drugi strani pa na to vplivajo vse pogostejši nepremišljeni in kapitalsko visoko vredni posegi človeka v obvodni prostor in na poplavne ravnice, kar povečuje ranljivost/občutljivost teh območij. Tveganje, katerega stopnjo določimo na podlagi ranljivosti in izpostavljenosti nevarnosti, lahko delno prevzamemo s primerno gradnjo objektov oziroma s proti-poplavnimi ukrepi (slika 1). Cilj za prihodnost pa je zmanjšanje ogroženosti z ustreznim prostorskim načrtovanjem, ki je predvsem s preventivnimi ukrepi usmerjeno v zmanjšanje ranljivosti.



Slika 1: Osnovne relacije med nevarnostjo, ranljivostjo in tveganjem (hazard – vulnerability – risk).

Ker je treba razmere ob poplavah bolje urediti, sta Evropski parlament in Svet evropske unije konec oktobra leta 2007 sprejela evropsko poplavno direktivo. V njej se od članic EU zahteva, da do konca leta 2013 pripravijo karte poplavne nevarnosti in karte poplavne ogroženosti, do konec leta 2015 pa tudi izdelane načrte za obvladovanje poplavne ogroženosti, s poudarkom na preprečevanju in varstvu ter pripravljenosti za ukrepanje, vključno z napovedovanjem poplav in sistemi zgodnjega obveščanja (Evropski … 2007, 5). Za izpolnitev ciljev je bil v Sloveniji, kot članici EU, v letu 2007 sprejet Pravilnik o metodologiji za določanje območij, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja ter o načinu razvrščanja zemljišč v razrede ogroženosti (Pravilnik 2007), s katerim želi država natančneje urediti ravnanje ob nevarnostih, povezanih z vodami, in hkrati učinkoviteje conirati prostor ob vodotokih, za katere velja sistem stopnjevanja omejene rabe.

2 Kartiranje poplavne ogroženosti

Katastrofalni dogodki v preteklosti so pokazali, da je negativne posledice možno le delno ublažiti z gradbenimi ukrepi in da imajo protipoplavni ukrepi v Sloveniji, kot tudi drugje po Evropi, vrsto pomanjkljivosti, medtem ko se ranljivost in s tem ogroženost povečuje. Danes je sicer moderno govoriti o podnebnih spremembah, vendar pa je treba poudariti, da se ogroženost povečuje predvsem na račun antropogenih posegov v prostor, pri katerih se premalo upošteva njihova ranljivost. Razlogi so številčni: intenzivna raba prostora in s tem povečevanje ekonomske vrednosti objektov in infrastrukture znotraj ogroženih območij, zmanjševanje prostora za razlivanje vode ob ekstremnih dogodkih, zagotavljanje

minimalnih varnostnih ukrepov in neprimerno vzdrževanje le-teh itd. (Loat 2003, 2). Z večanjem ogroženosti pa se povečuje tudi tveganje. Ko se pojavi dogodek, ki prinaša tveganje, ga je treba obravnavati deljeno, kot prevzeto tveganje, ki je bilo npr. s projektom urejeno in nato vzdrževano, in na preostalo tveganje (Steinman 2006, 4). Seveda pa tveganje lažje zmanjšamo oziroma obvladujemo s prilagajanjem rabe prostora in dejavnosti v prostoru, s čimer zmanjšamo ranljivost/občutljivost na nevarnosti.

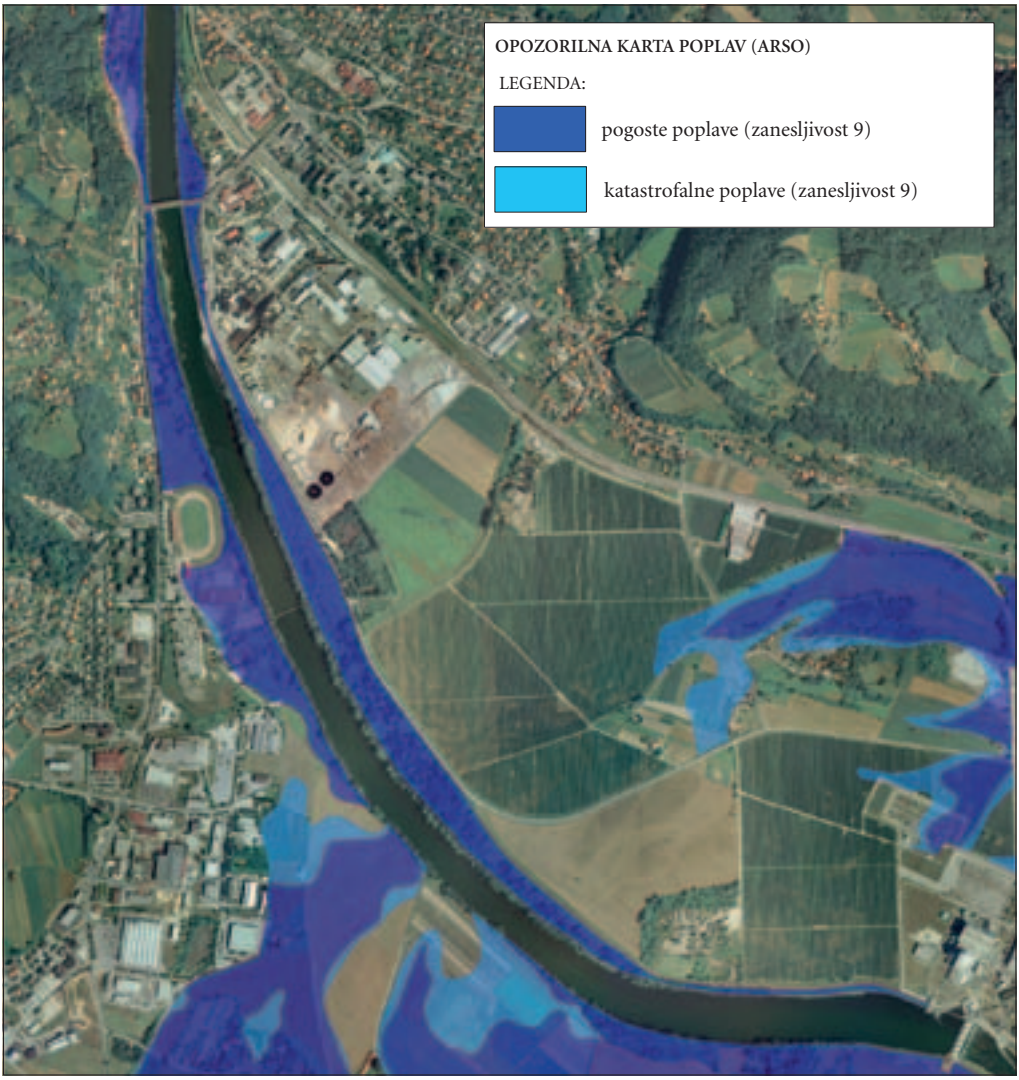
Cilj nove zakonodaje je zato v prvem koraku priprava strokovnih podlag, v obliki opozorilnih kart, za nadaljnje ukrepe zaščite okolja, človeških življenj, objektov in dejavnosti pred poplavno nevarnostjo na način, ki je usmerjen zlasti v smotrno prostorsko planiranje, omejevanje rabe prostora in preventivne ukrepe. V prvi vrsti je zato treba natančno oceniti in kartirati potencialna poplavna območja in skupaj z upoštevanjem ranljivosti/občutljivosti pripraviti karte poplavne ogroženosti.

2.1 Določanje poplavne nevarnosti

Naravno nevarnost, med katere sodijo tudi poplave, definiramo kot dogodek ali fizikalno stanje, ki je potencialni vzrok smrtnih žrtev, poškodovancev, škode na premoženju, škode na infrastrukturi ipd. Magnituda pojava, verjetnost njegovega nastanka in razsežnost ter jakost njegovega učinka se lahko spreminjajo, čeprav jih je v številnih primerih mogoče predvideti ali oceniti (Mikoš 2007, 280). Obstoječe opozorilne karte poplavne nevarnosti, ki so objavljene na spletnih straneh Agencije Republike Slovenije za okolje in prostor (ARSO), večinoma upoštevajo le v preteklosti zabeležene podatke poplavnih dogodkov. Na opozorilnih kartah so območja nevarnosti razvrščena v več razredov: redke, pogoste, katastrofalne poplave (slika 2). Karte pa ne podajajo podatkov o verjetnosti nastopa posameznih dogodkov, na podlagi katerih se določa stopnja nevarnosti oziroma se dimenzionira proti-poplavne ukrepe in druge objekte na in ob vodotokih. Zato je podana zanesljivost teh podatkov za posamezno področje, ocenjena z vrednostjo od 1 do 10, kjer 10 pomeni najvišjo raven zanesljivosti.

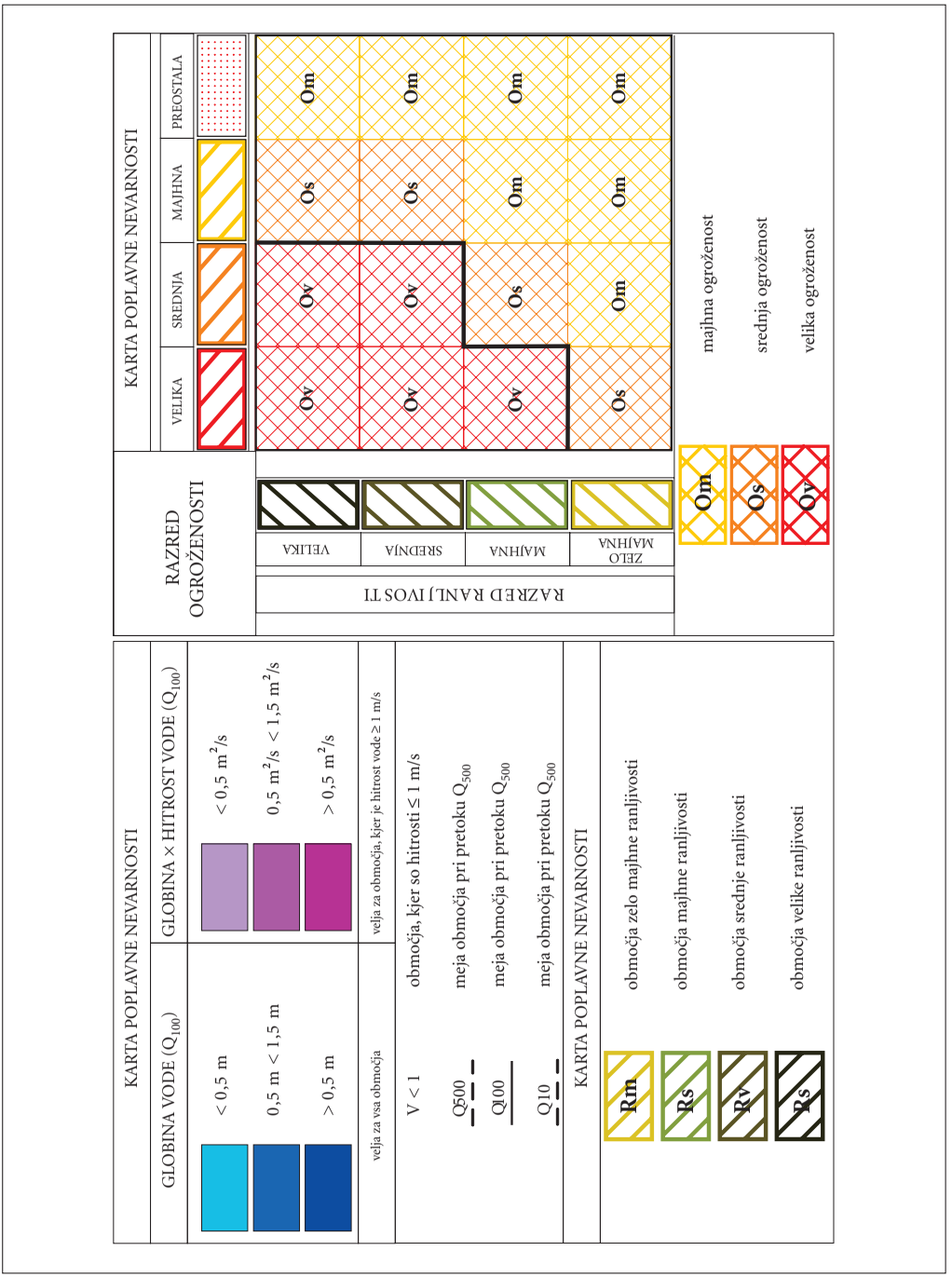
Nova metodologija določanja poplavne nevarnosti, v skladu z zahtevami direktive, ne upošteva le dosega poplavnih voda, temveč kategorizira poplavna območja na podlagi več faktorjev. Doseg poplavnih vod je vezan na dogodke z različnimi povratnimi dobami. Poleg območij dosega 100-letnih voda, kar predstavlja srednjo verjetnost poplav, so določena tudi poplavna območja 10 in 500-letnih voda. Medtem ko 10-letne vode predstavljajo poplave z veliko verjetnostjo, pa 500-letne predstavljajo poplave z majhno verjetnostjo oz. izredne dogodke. Za dogodke s 100-letno povratno dobo se poleg dosega vode upošteva tudi njena globina in hitrost. Podatek o globini in hitrosti vode je ključen za določanje stopnje intenzitete dogodka, saj je sila vode neposredno povezana z ranljivostjo človeka in objektov. Posamezni objekt je na primer lahko povsem varen do določene globine preplavitve in hitrosti vode, pri višjih vodostajih oziroma hitrostih pa so že lahko bodisi ogrožena človeška življenja ali stabilnost objekta. Z analiziranjem obeh kriterijev, upošteva pa se bolj neugoden, so poplavna območja kategorizirana v štiri razrede, in sicer na območja z veliko, srednjo, majhno in preostalo nevarnostjo (slika 3).

Podobno kot drugi ekstremni dogodki v naravi so tudi poplave več dimenzijski pojavi, zato na področju analiziranja, simuliranja, reševanja in ukrepanja ob takšnih dogodkih evidentno igrajo vse pomembnejšo vlogo GIS. Prednost uporabe GIS na področju ukrepanja v primeru naravnih nesreč ni le v generiranju vizualizacije poplavljanja, temveč predstavlja velik potencial tudi za nadaljnje analize in ocenitev škode nastale zaradi poplav. Za natančnejšo določitev območij z možnostjo nastanka poplavne nevarnosti in njeno intenziteto ter ovrednotenje poplavne ogroženosti so, poleg zgodovinskih podatkov poplavnih dogodkov, ključnega pomena natančni topografski in vodarski vhodni podatki. Hidrološke podatke zagotavlja ARSO z monitoringom vodostajev, pretokov ipd. za daljša časovna obdobja, za objekte, ki prečkajo vodotoke ali pa se nahajajo znotraj dosega visokih voda, pa se podatki zbirajo v različnih evidencah in katastrih. Tudi pri pripravi podatkov topografije postaja v zadnjih letih ključno orodje kombinacija tehnologij daljinskega zaznavanja in geografskih informacijskih sistemov (GIS). Pri zajemu topografije poplavnih območij je pomemben napredek prinesla zlasti tehnologija LIDAR. Ta namreč omogoča skeniranje terena z visoko natančnostjo in gostoto izmerjenih točk, kar posledično omogoča

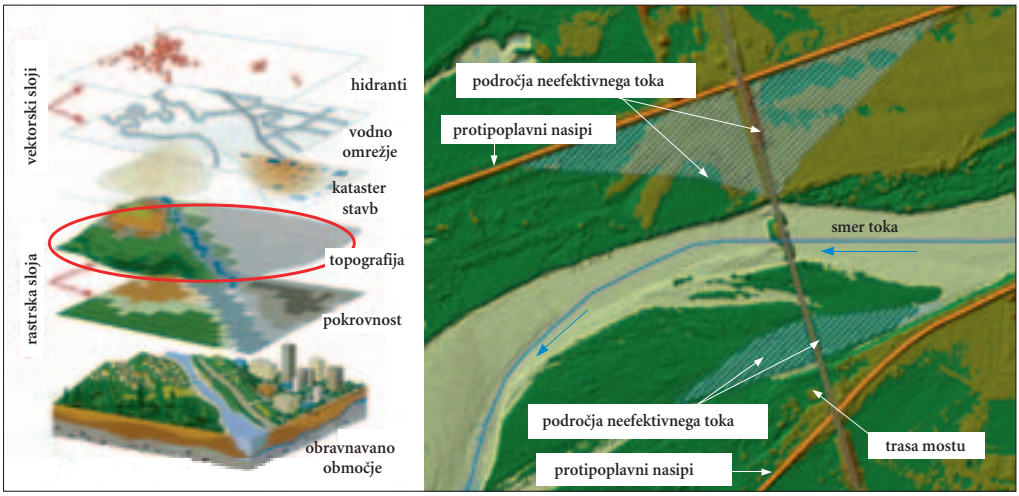


Slika 2: Obstoječe opozorilne karte poplav objavljene na straneh ARSO za območje Krškega.

izdelavo natančnih digitalnih modelov višin (DMV), ki predstavljajo podlago za pripravo geometrije rečnega korita in poplavnih površin in s tem natančnejše modeliranje propagacije poplavnih valov z 1D in 2D hidravličnimi modeli. Tehnologija LIDAR omogoča tudi analizo pokrovnosti, kar prav tako predstavlja pomembne informacije za določanje notranjih in robnih pogojev modeliranja. Numerične metode hidravličnih modelov za simuliranje vodnega toka so sicer že dlje časa na zelo visokem nivoju, vendar pa je velik preskok v natančnosti in uporabnosti v hidravlični analizi razmer na obvodnem prostoru prinesla neposredna povezava GIS orodij in hidravličnih modelov. Prednost povezave hidravličnega modela z GIS orodji je v tem, da s pripravo geometrijskih podatkov na podlagi natančnega DMV, hidravlični model tudi že natančno umestimo v prostor (slika 4). Prednost se pokaže predvsem po končanih hidravličnih simulacijah, ko izračune potekov gladin in hitrosti prenesemo nazaj v GIS okolje. To olajša,



Slika 3: Kriteriji in oznake za kartiranje poplavne nevarnosti in ogroženosti, kot jih predpisuje novi Pravilnik (2007).



Slika 4: Shematski prikaz nekaterih prostorskih podatkovnih sklopov, pomembnih za izdelavo študij in analiz (levo), in prikaz priprave geometrijske podlage za hidravlični model (desno).

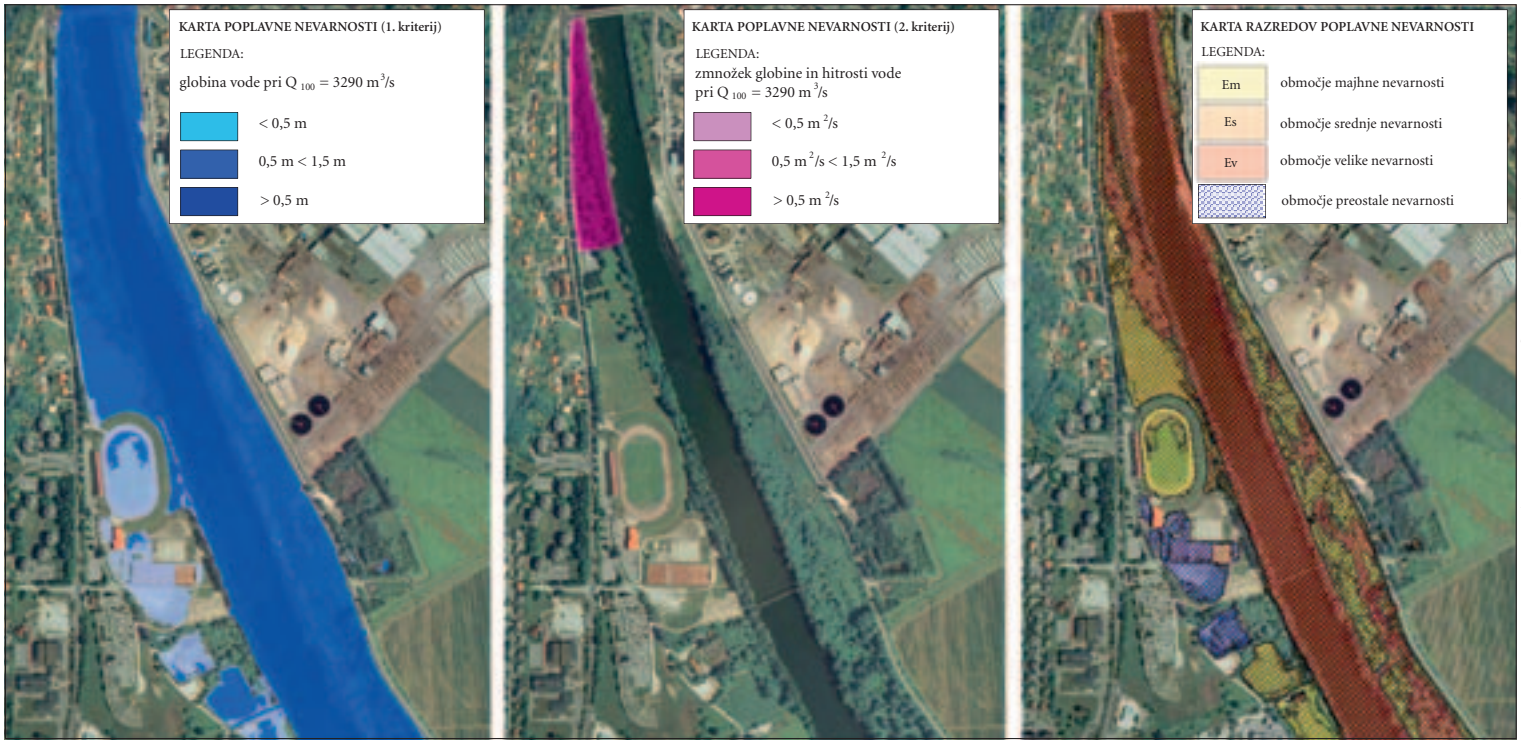
predvsem pa izboljša natančnost in ločljivost izrisa poplavnih linij in razporeditev hitrosti vodnega toka v prostoru. S primerjavo DMV in izračunov poteka vodne gladine, navadno v obliki nepravilne triagonalne mreže, dobimo tudi globino vode v poljubni točki poplavnega območja. Rezultate prikažemo na podlagi ortofoto posnetkov, različnih kartah, katastrih, v zadnjem času pa se vse pogosteje izdelujejo vizualizacije v 3D okolju. Analiza možnosti vključitve GIS orodij v postopke priprave geometrijske podlage in prikaz rezultatov je pokazala, da je natančnost take analize odvisna predvsem od natančnosti DMV (Rak s sodelavci 2006, 110).

Karta poplavne nevarnosti, izdelana v merilu 1 : 5000 ali večjem, predstavlja rezultat hidravličnih in hidroloških analiz določitve obsega, intenzitete in verjetnosti pojava poplavnega dogodka. Kot omenjeno, se za vsako področje določi doseg poplavnih vod ter tudi globina in hitrost vode. Hkratno upoštevanje analize razporeditve globin in hitrosti vode pokaže intenziteto dogodka, pri čemer se upošteva bolj neugoden vpliv (slika 5).

Za ustrezno ukrepanje ob poplavni ogroženosti so nujni tudi prognostični modeli in sistemi zgodnjega obveščanja. Pri takšnih sistemih karte poplavne nevarnosti skupaj predstavljajo ključne komponente prostorsko distribuiranega modela, osnovanega na GIS tehnologiji. Na učinkovitost takšnega modela vplivajo številni dejavniki, kot so dobro razvita monitoring mreža, natančni topografski in drugi prostorski podatki, verificirani in robustni hidrološki in hidravlični modeli, interoperabilnost, dovršenost in učinkovita, a preprosta izvedba obveščevalnega sistema. Večina teh elementov je lahko učinkovita le v tesni povezavi z GIS tehnologijo.

2.2 Določanje ranljivosti območij

Karte poplavne nevarnosti predstavljajo šele prvi korak k oceni poplavne ogroženosti. Ogroženost predstavlja kompozitum nevarnosti in ranljivosti oziroma občutljivosti človeka, objekta ali dejavnosti. Za območja, na katerih obstaja verjetnost nastanka poplavne nevarnosti, je treba izdelati še presojo o stopnji ranljivosti. Ranljivost je značilnost živih bitij, socialnih in fizikalnih okolij, ki opisuje stopnjo občutljivosti ali neodpornosti na učinke naravnih nevarnosti (Mikoš 2007, 279). Na stopnjo ranljivosti nekega območja vplivajo številni faktorji, kot so gostota prebivalstva, vrste in pomembnost gospodarskih in negospodarskih dejavnosti, vrsta in intenziteta potencialnih nevarnosti, ki so lahko



Slika 5: Prikaz obsega poplavljanja za poplave s 100-letno povratno dobo in intenziteta pojava za kriterije (levo in sredina) po Pravilniku (2007). Desno je končni rezultat, karta 4 razredov poplavne nevarnosti.

posledica pojava poplavne nevarnosti (onesnaženje) itd. Posamezne faktorje je treba razvrstiti po pomenu in ovrednotiti, kar z kombinacijo indeksov posameznih faktorjev omogoča standardizacijo merjenja oziroma ocenjevanja ranljivosti. Kriteriji novega Pravilnika (2007) za določanje stopnje ranljivosti, ki so podrobneje opisani v spodnji preglednici, so posplošeni kazalci za osnovno vrednotenje ogroženosti.

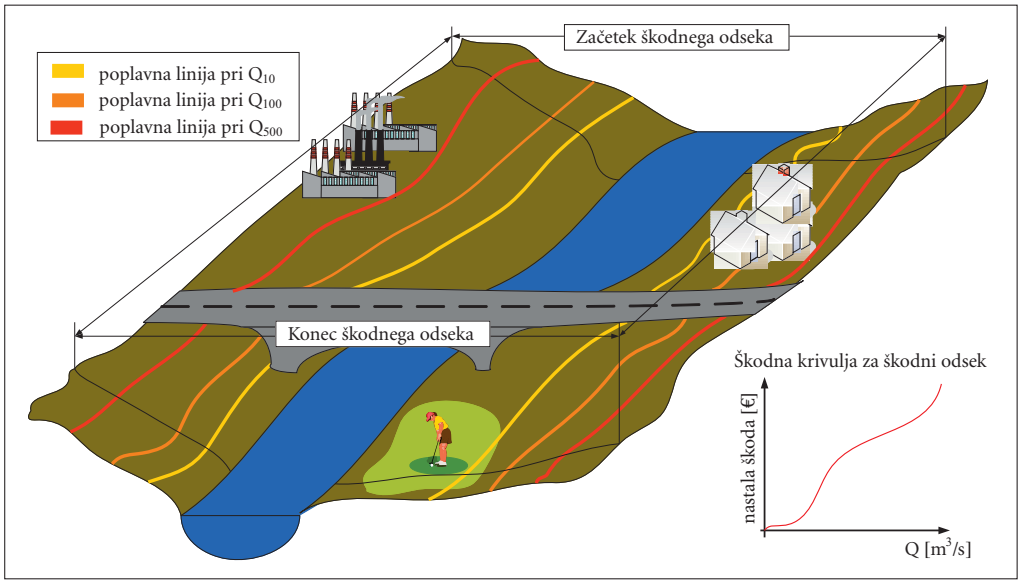
Preglednica 1: Kriteriji za določanje stopnje ranljivosti kot jih določa novi Pravilnik (2007).

razred	elementi ogroženosti
zelo majhna ranljivost	gostota prebivalstva: do 10 prebivalcev na km^2 manjši obrati gospodarskih in negospodarskih dejavnosti lokalnega pomena občutljivi objekti
majhna ranljivost	gostota prebivalstva: od 11 do 100 prebivalcev na km^2 obrati gospodarskih in negospodarskih dejavnosti lokalnega pomena občutljivi objekti kulturna dediščina lokalnega pomena območja s posebnimi zahtevami po predpisih, ki določajo način priprave načrtov upravljanja voda
srednja ranljivost	gostota prebivalstva: od 101 do 300 prebivalcev na km^2 obrati gospodarskih in negospodarskih dejavnosti lokalnega pomena občutljivi objekti obrati in naprave, zaradi katerih lahko pride do onesnaženja območja s posebnimi zahtevami po predpisih, ki določajo način priprave načrtov upravljanja voda kulturna dediščina regionalnega pomena
velika ranljivost	gostota prebivalstva: več kot 500 prebivalcev na km^2 obrati gospodarskih in negospodarskih dejavnosti državnega pomena obrati in naprave, zaradi katerih lahko pride do onesnaženja velikega obsega, še posebej v povezavi z območji z gostoto prebivalcev od 101 do 500 prebivalcev na km^2 ali z območji s posebnimi zahtevami po predpisih, ki določajo način priprave načrtov upravljanja voda kulturna dediščina državnega oziroma svetovnega pomena občutljivi objekti

Navedeni elementi, ki kažejo stopnjo ranljivosti, se z večanjem ekonomske vrednosti, intenzitete rabe prostora ipd. spreminjajo, kar lahko bistveno povečuje tudi ranljivost. Z uporabo tehnologije GIS je postopek ocenjevanja ranljivosti posameznega območja mogoče izredno poenostaviti. Kombinacija in prekrivanje kart poplavne nevarnosti z ortofoto posnetki, kartami rabe tal, katastrskimi načrti, demografskimi kartami, skupaj s statistikami o populaciji, objektih in dejavnostih, omogoča hitro in dovolj natančno oceno območij, katerim grozi nevarnost, in posledično določevanje njihove ranljivosti.

2.3 Kartiranje poplavne ogroženosti

Kompozitum nevarnosti in ranljivosti določa ogroženost območij. Če pa lahko dodamo še vrednost ogroženca in ogroženih objektov, dobimo škodni potencial. Karte poplavne ogroženosti tako prikazujejo morebitne škodne posledice povezane s poplavami, ki se opišejo s kazalci, kot so okvirno število ogroženih prebivalcev, število in vrste gospodarskih in negospodarskih dejavnosti na območjih, ki jih lahko prizadene poplave, obrati, ki lahko v primeru poplav povzročijo večje onesnaženje,



Slika 6: Shematski prikaz odseka vodotoka z vrisanimi poplavnimi linijami za pretoke z različno verjetnostjo. Glede na občutljivost na poplave je možna sprejemljiva raba prostora znotraj posameznih poplavnih linij.

potencialno prizadeta zavarovana območja itd. Karte ogroženosti prestavljajo podlago za izdelavo načrtov ukrepanja za obvladovanje poplavne ogroženosti. Na eni strani dajejo smernice za določitev omejitev in pogojev za prostorsko planiranje v območjih poplavne nevarnosti. Takšen način obvladovanja tveganja imenujemo preventivno obvladovanje, saj na ta način zmanjšamo verjetnost nastopa nevarnosti in škodnih posledic. Na drugi strani pa postavljajo odgovorne pred vprašanje/odločitev, do kakšne mere se prevzame tveganje na območjih z antropogenimi posegi. Zakon o vodah (2002) je določil, da so Vodnogospodarske osnove veljavni dokument, dokler ne bodo sprejeti načrti urejanja porečij. Tako so v Sloveniji Vodnogospodarske osnove edini dokument za presojo in izbiro odločilne stopnje varovanja ljudi in premoženja, ki določa kriterije za dimenzioniranje pretočnih sposobnosti vodotokov in na njih vezanih varovalnih ukrepov (ZVSS 1978, 8). Seveda je tu treba, poleg stopnje prevzetega tveganja, upoštevati tudi načelo stroškov in koristi (*cost-benefit*). Če kriteriji določitve tveganja kažejo na višjo raven tveganja, kot smo ga pripravljeni prevzeti, je treba bodisi zmanjšati nevarnost oziroma ranljivost, bodisi takšne dogodke kategorizirati kot izredne dogodke, ki sodijo v preostalo tveganje. V primeru, da želimo zmanjšati ogroženost, se to lahko stori ali z zmanjšanjem nevarnosti ali ranljivosti. Na spodnji sliki je shematski prikaz odseka vodotoka z vrisanimi linijami dosega visokih voda z različno verjetnostjo nastanka in škodna krivulja, ki kaže relacijo med pretokom vodotoka, ki neposredno vpliva na vodostaj oziroma doseg poplavnih vod, in nastalo škodo.

Evropska poplavna direktiva postavlja jasne cilje obvladovanja poplavne ogroženosti, s poudarkom na preprečevanju ogroženosti, varstvu ogroženih ter pripravljenosti in delovanju sistemov zgodnjega obveščanja. Vendar pa država zaenkrat še nima v roka inštrumenta, ki bi ji omogočal uspešno zmanjševanje ogroženosti z zmanjšanjem škodnega potenciala na poplavnih območjih. Zato se pojavljajo mnoge zahteve po zagotavljanju poplavne varnosti za prevzeto tveganje na območjih z obstoječimi antropogenimi posegi, hkrati pa potrebe po interventnih ukrepih in povrnitve morebiti nastale materialne škode. Dobre topografske in vodarske podloge, podprte z GIS orodji, omogočajo pripraviti inštrumente, ki bodo zagotavljali preventivno obvladovanje tveganja in onemogočali prostorsko planiranje, gradnjo,

dejavnosti in razvoj na poplavno ogroženih območjih, še posebej, če bi se nesmotrno povečeval škodni potencial. Prav tako pa je treba pripraviti možnosti zavarovanja premoženja s primernimi zavarovalnimi premijami, ki bodo po eni strani delno tveganje prenesli na investitorja, ki se bo prisiljen sam odločiti, do kakšne mere je pripravljen prevzeti tveganje, po drugi strani pa se bo na ta način tudi razbremenil državni proračun namenjen odpravljanju posledic naravnih nesreč.

3 Sklep

Naravne nevarnosti, katerim smo izpostavljeni, bodo v prihodnosti imele močan vpliv na integriteto ter ekonomski in socialni trajnostni razvoj antropogenega okolja. V prispevku je predstavljena metodologija, oblikovana na podlagi evropske poplavne direktive, za pripravo kart poplavne ogroženosti. S pomočjo kart nevarnosti, ogroženosti in tveganj bodo članice EU pripravljale načrte za obvladovanje poplavne ogroženosti. Za trajnostni razvoj – zagotavljanje okoljsko varovalnega pristopa in hkrati gospodarskega in operativnega razvoja je treba problematiko reševati s poudarkom na preprečevanju in varovanju, pripravljenosti in obveščanju. Pri analiziranju stanja, reševanju in ukrepanju ob naravnih nesrečah gre za več dimenzijski problem, kjer ima GIS tehnologija pomembno vlogo. Različne tehnike daljinskega zaznavanja in monitoringa so nepogrešljive v vseh fazah – od priprave podatkov za izdelavo in verifikacijo simulacijskih modelov, pri spremljanju in analiziranju stanja, pripravi najrazličnejših kart, kot tudi za učinkovito delovanje prognostičnih modelov in sistemov zgodnjega obveščanja. Na številnih poplavno ogroženih območjih Slovenije je zaznati močan pritisk po najrazličnejšem razvoju, zato je nujno treba v najkrajšem možnem času sistematično pristopiti k zmanjševanju tveganja, tako z zmanjšanjem občutljivosti/ranljivosti kot tudi z ustrezno preventivo, ki upošteva danosti (nevarnosti) v prostoru. K temu pomembno prispeva tudi evropska in slovenska zakonodaja, ki podaja omejitve in pogoje za prostorsko planiranje na poplavno ogroženih območjih, kar bo treba uveljaviti v predpisani časovni dinamiki.

4 Viri in literatura

Evropski parlament in svet evropske unije. 2007. Direktiva 2007/60/ES evropskega parlamenta in sveta o oceni in obvladovanju poplavne ogroženosti (krajše: Poplavna direktiva). Bruselj.

Gosar, L., Rak, G., Steinman, F. 2006a: Analiza hidravličnih lastnosti vodotokov z uporabo GIS orodja. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2005–2006. Ljubljana.

Gosar, L., Rak, G., Steinman, F., Banovec, P. 2006: Floodplain calculations based on LIDAR data. Vada i mi. Sarajevo.

Loat, R. 2003. Risk management in Switzerland. Biel.

Mikoš, M. 2007: Upravljanje tveganj in nova evropska direktiva o poplavnih tveganjih. Gradbeni vestnik 56-11. Ljubljana.

Penca, B., Korošec, I., Lešnik, Z., Lovrinčević, S., Štrekelj, S., Lamovšek, M. 1999: Zavarovanje pred nevarnostjo naravnih in drugih nesreč. Ujma 13. Ljubljana.

Pravilnik o metodologiji za določanje območij, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja, ter o načinu razvrščanja zemljišč v razrede ogroženosti. Uradni list Republike Slovenije 60/2007. Ljubljana.

Rak, G., Gosar, L., Steinman, F. 2006: Z LIDAR tehnologijo zajeta topografija v hidravličnih analizah vodotokov. 17. Mišičev vodarski dan. Maribor.

Steinman, F. 2006: Naravne in antropogeno povzročene škode, povezane z vodo. Celje.

Zakon o vodah. Uradni list Republike Slovenije 67/2002.

ZVSS (Zveza vodnih skupnosti Slovenije) 1978: Vodnogospodarske osnove. Ljubljana.

UPORABA SATELITSKIH POSNETKOV ZA ANALIZO POPLAV SEPTEMBRA 2007

Peter Pehani, Žiga Kokalj, Aleš Marsetič, dr. Krištof Oštir
Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU
peter.pehani@zrc-sazu.si, ziga.kokalj@zrc-sazu.si, ales.marsetic@zrc-sazu.si, kristof@zrc-sazu.si

UDK: 528.7:556.166(497.4)"2007"
COBISS: 1.16

IZVLEČEK
Uporaba satelitskih posnetkov za analizo poplav septembra 2007
18. septembra 2007 je silovito deževje povzročilo eno večjih naravnih nesreč v Sloveniji. Prek mednarodnega programa »Vesolje in velike nesreče« je bilo za opazovanje dogodka pridobljenih 25 satelitskih posnetkov, zajetih pred nesrečo in po njej s sistemi Envisat, Formosat, IRS, Radarsat in SPOT. Zaradi pogojev in časa snemanja ter dobrih radiometričnih in geometričnih lastnosti so se za najuporabnejše izkazali posnetki sistema SPOT. Opravljeni so bili geometrični popravki, izostritev podob, izboljšava kontrasta in analiza spektralnih odbojev. Rezultati so bili kartirani v merilih do 1 : 25.000.
Kakovost posnetkov ter hitrost in natančnost obdelave so dovolj dobri za oceno obsega prizadetih območij, vendar prepočasni za potrebe terenskega reševanja takoj po nesreči.

KLJUČNE BESEDE
satelitski posnetki, analiza podob, naravne nesreče, poplave, Železniki, program »Vesolje in velike nesreče«

ABSTRACT
Application of satellite images for analysis of September 2007 floods
On September 18th 2007, Slovenia was exposed to torrential rains with disastrous effects. The international charter »Space and Major Disasters« has been activated immediately after the event and 25 satellite images were obtained, acquitted with Envisat, Formosat, IRS, Radarsat and SPOT either before or after the catastrophe. Due to conditions and time of imaging as well as good radiometric and geometric properties the most suitable proved to be the SPOT images. They were processed as follows: geometrical correction, pan-sharpening, contrast enhancement and analysis of spectral values. Results were mapped in scales up to 1 : 25,000. The quality of images as well as speed and accuracy of the processing is sufficient for the estimation of the extent of affected areas, however not fast enough to benefit to the rescuing operations immediately after the disaster.

KEY WORDS
satellite images, image analysis, natural disasters, floods, Železniki, »Space and Major Disasters« charter

1 Uvod

Naravne nesreče predstavljajo veliko grožnjo prebivalstvu, povzročajo ogromno materialno škodo, v zadnjih 30 letih pa so zahtevale več kot milijon in sedemsto tisoč smrtnih žrtev (Guha-Sapir s sodelavci 2004). Možnosti njihovega napovedovanja so omejene, potrebno je opazovanje z vso razpoložljivo tehnologijo. Evropska vesoljska agencija (*European Space Agency*, ESA) ter francoski Center za vesoljske raziskave (*Centre National d'Etudes Spatiales*, CNES) sta leta 2000 vzpostavila program »Vesolje in velike nesreče« (*Space and Major Disasters Charter*) (medmrežje). Njegov glavni cilj je širše izkoriščanje možnosti, ki jih nudi vesoljska tehnologija v primeru nesreč (opazovanje s sateliti, telekomunikacije). Do danes so se programu pridružile številne vesoljske agencije: *Canadian Space Agency* (CSA), *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), *Indian Space Research Organization* (ISRO), *Argentine Space Agency* (CONAE), *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA), *United States Geological Survey* (USGS) in *China National Space Administration* (CNSA).

Program lahko aktivirajo pooblaščeni uporabniki, v Sloveniji je od vstopa v Evropsko unijo to Uprava RS za zaščito in reševanje, v primeru kakršnekoli velike nesreče naravnega ali človeškega vzroka. V nekaj minutah po aktivaciji se vzpostavi delovna skupina. Ta določi načrt zajema podatkov, ki so primerni glede na nesrečo (obseg, kraj, vrsta) in naravne danosti (relief, padavine, vremenske razmere). Sodelujoče organizacije brezplačno ponudijo svoje snemalne sisteme in v nekaj urah oziroma dneh po aktivaciji pooblaščeni uporabniki že dobijo prve satelitske posnetke. Te je treba primerno obdelati in kartirati, za kar poskrbi posebna strokovna, praviloma lokalna organizacija. Izdelki, ki jih je mogoče pripraviti, obsegajo vse od običajnih satelitskih kart velikih meril do interpretiranih in izvedenih informacij (obseg nesreče, ocena škode …).

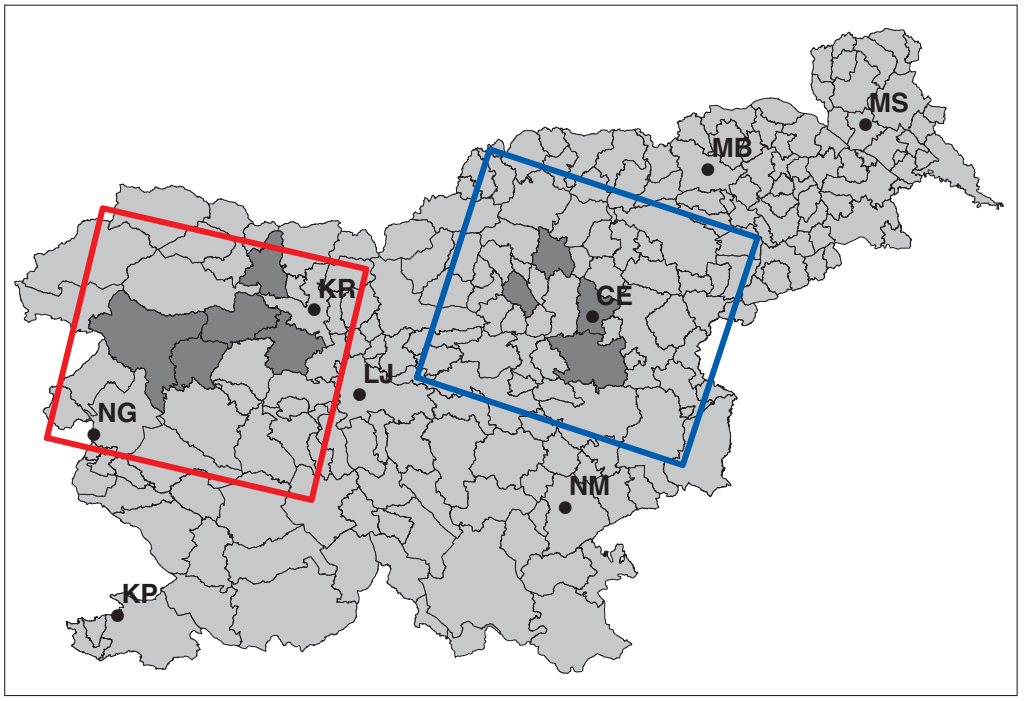
V Sloveniji smo program »Vesolje in velike nesreče« aktivirali dvakrat: prvič leta 2000 po plazu v Logu pod Mangartom (Oštir s sodelavci 2002) – kar je bila tudi v svetovnem merilu prva aktivacija programa – drugič pa ob poplavah septembra 2007. Povzetki slednje, ki ima zaporedno številko 179, so navedeni v nadaljevanju, podrobneje pa opisani v poročilu programu (Oštir s sodelavci 2007).

2 Aktivacija programa »Vesolje in velike nesreče«

18. septembra 2007 je silovito deževje povzročilo eno večjih naravnih nesreč v Sloveniji v zadnjih desetletjih. Padavine, ki so se razbesnele v severozahodni Sloveniji in se nato razširile proti vzhodu, so povzročile poplave, v katerih je umrlo šest ljudi, poškodovanih je bilo na stotine hiš in podjetij, odplavljene so bile številne ceste, mostovi in vozila, uničena je bila partizanska bolnica Franja. Večina škode je nastala v pasu 150 km krat 70 km, z »epicentroma« v zahodnem in vzhodnem delu tega pasu (slika 1). Količina padavin v tem pasu je presegla 100 l/m^2, z ektremnimi vrednostmi preko 300 l/m^2 in povratno dobo 250 let (ARSO 2008).

Jutro po katastrofi je Uprava RS za zaščito in reševanje sprožila program pri dežurnem operaterju iz argentinske CONAE. Aktivacija je bila vodena s strani nemškega DLR, za koordinacijo, sprejem in obdelavo podatkov (tako imenovani VA, *Value Added Reseller*) pa je bil zaprošen Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU.

Prve arhivske posnetke, ki prikazujejo stanje pred nesrečo, smo prejeli 21. septembra. Tega jutra, torej slabe tri dni po katastrofi, so bila opravljena tudi prva snemanja prizadetih območij, posnetke pa smo prejeli 24. septembra. Skupno je bilo v okviru programa na voljo 25 satelitskih posnetkov iz šestnajstih snemanj s satelitskimi sistemi Envisat, Formosat, IRS, Radarsat in SPOT (preglednica 1). Envisat in Radarsat delujeta v mikrovalovnem (radarskem) delu elektromagnetnega spektra. Formosat, IRS in SPOT delujejo v optičnem delu spektra, opremljeni pa so z več snemalnimi sistemi (kamerami), zato je rezultat njihovega snemanja običajno par posnetkov: pankromatski (sivinski) in večspektralni. Prejeti posnetki so bili deloma arhivski, deloma pa namensko posneti v intervalu od 3 do 12 dni po katastrofi.



Slika 1: Satelitska snemanja so bila osredotočena na najhuje prizadeta območja. Prikazan je obseg satelitskih posnetkov za zahodni (rdeče) in vzhodni (modro) »epicenter«, kot jih je posnel sistem SPOT. Označenih je tudi devet občin, ki so po oceni Uprave RS za zaščito in reševanje utrpele največjo škodo.

Načrt snemanja ni bil izpolnjen v celoti: na satelitu Envisat je zatajila snemalna naprava; snemanje s sistemom Ikonos je bilo odpovedano, ker je bil časovni okvir snemanja določen na eno leto; zaradi oblačnosti sta bila dva zajeta posnetka SPOT neuporabna.

3 Priprava satelitskih posnetkov

Takoj po dobavi, kar pomeni nekaj dni po zajemu, smo na vseh satelitskih posnetkih opravili geometrične popravke. Nadaljnje obdelave smo izvajali le na posnetkih, katerih kakovost je ustrezala našemu namenu (slika 2). Obdelave – izvajali smo jih na različnih uveljavljenih programskih orodjih ENVI, ERDAS Imagine in ESRI ArcGIS – so podrobneje opisane v nadaljevanju.

3.1 Geometrični popravki

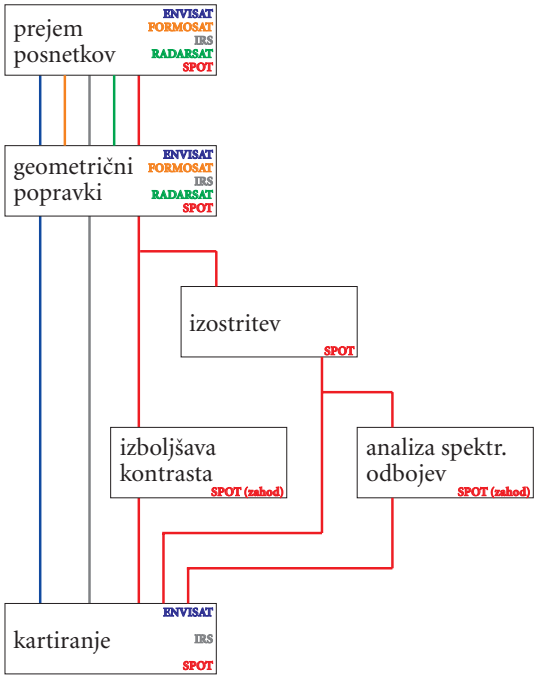
Deformacije surovih satelitskih posnetkov so posledica ukrivljenosti Zemlje, lastnosti snemalnega sistema ter kota snemanja. Rektifikacija posnetka odpravlja te deformacije in omogoča predstavitev posnetka na ravnini v izbrani kartografski projekciji.

V osnovi ločimo dva načina rektifikacije:

- **Georeferenciranje** surovo podobo geometrično popravi in ji določi kartografsko projekcijo z uporabo merjenih oslonilnih točk. Če se oslonilne točke določa avtomatsko iz drugega, že rektificiranega posnetka, se postopek imenuje registracija.

Preglednica 1: Satelitski posnetki, pridobljeni iz programa »Vesolje in velike nesreče« pri aktivaciji 179.

satelitski sistem	snemalni senzor, ločljivost in tip posnetka	nov/ arhivski	datum zajema	število dni od neurja	datum prejema	zahod/ vzhod
Envisat	ASAR, 25 m radarski	nov	30. 09. 2007	12	01. 10. 2007	Z
	ASAR, 25 m radarski	arhivski	22. 07. 2007		20. 09. 2007	Z
	ASAR, 25 m radarski	arhivski	19. 07. 2007		24. 09. 2007	V
Formosat	F-2, 2 m pan ter 8 m večspektralni	nov	21. 09. 2007	3	25. 09. 2007	Z
	F-2, 2 m pan ter 8 m večspektralni	nov	22. 09. 2007	4	25. 09. 2007	Z
	F-2, 2 m pan ter 8 m večspektralni	nov	23. 09. 2007	5	25. 09. 2007	Z
	F-2, 2 m pan ter 8 m večspektralni	nov	24. 09. 2007	6	25. 09. 2007	Z
	F-2, 2 m pan ter 8 m večspektralni	nov	25. 09. 2007	7	26. 09. 2007	Z
IRS-P6	LISS-3, 5 m pan, 23,5 m večspektralni ter 56 m večspektralni AWF	nov	22. 09. 2007	4	24. 09. 2007	Z
Radarsat	RS1, 15 m radarski	nov	22. 09. 2007	4	24. 09. 2007	Z
	RS1, 15 m radarski	nov	26. 09. 2007	8	26. 09. 2007	V
	RS1, 15 m radarski	arhivski	19. 08. 2001		24. 09. 2007	Z
SPOT	SPOT5, 2,5 m pan ter 10 m večspektralni	nov	21. 09. 2007	3	24. 09. 2007	Z
	SPOT5, 2,5 m večspektralni	arhivski	12. 03. 2007		21. 09. 2007	Z
	SPOT5, 2,5 m pan ter 10 m večspektralni	nov	30. 09. 2007	12	01. 10. 2007	V
	SPOT5, 10 m večspektralni	arhivski	05. 08. 2007		24. 09. 2007	V



Slika 2: Shematski prikaz opravljenih obdelav satelitskih posnetkov.

- **Ortorektifikacija** je proces zmanjševanja geometričnih napak, posebno premaknjenosti reliefa, z uporabo digitalnega modela višin ter podatkov o položaju satelita v trenutku snemanja. Dobljeni posnetek je v ortogonalni projekciji.

Vse nove posnetke sistema SPOT smo ortorektificirali z uporabo digitalnega modela reliefa Slovenije (ločljivost 12,5 m, povprečna višinska natančnost 3,2 m, vir: Geodetska uprava RS) ter metapodatkov posnetka. Ti vsebujejo parametre za izračun racionalnih polinomskih koeficientov (RPC), ki jih uporabimo v postopku ortorektifikacije (Marsetič in Oštir 2007). Natančnost smo izboljšali z uporabo 15 enakomerno razporejenih oslonilnih točk. Za prevzorčenje smo uporabili bilinearno interpolacijo.

Za ortorektifikacijo posnetkov Envisat smo uporabili isti relief, z upoštevanjem geometrije gledanja radarskega sistema smo odpravili večino nepravilnosti, kot so sence in prevračanje. Dobljena položajna natančnost je bila 20 m, torej velikostnega reda piksla.

Vse ostale posnetke smo rektificirali s pomočjo registracije na druge posnetke: posnetke IRS ter arhivske posnetke SPOT smo registrirali na arhivske posnetke istih sistemov, pridobljenih iz programa Corine 2006; posnetke Radarsat na arhivske posnetke enakega tipa; posnetki Formosat so bili georeferencirani na DOF5.

Na geometrično popravljenih posnetkih smo skušali vizualno razbrati posledice neurja. Posnetki radarskih sistemov, ki so sicer zelo primerni za zaznavanje vlage, predvsem površinskih voda, niso bili uporabni, saj je voda zaradi zelo razgibanega oziroma nagnjenega terena odtekla že pred prvimi snemanji.

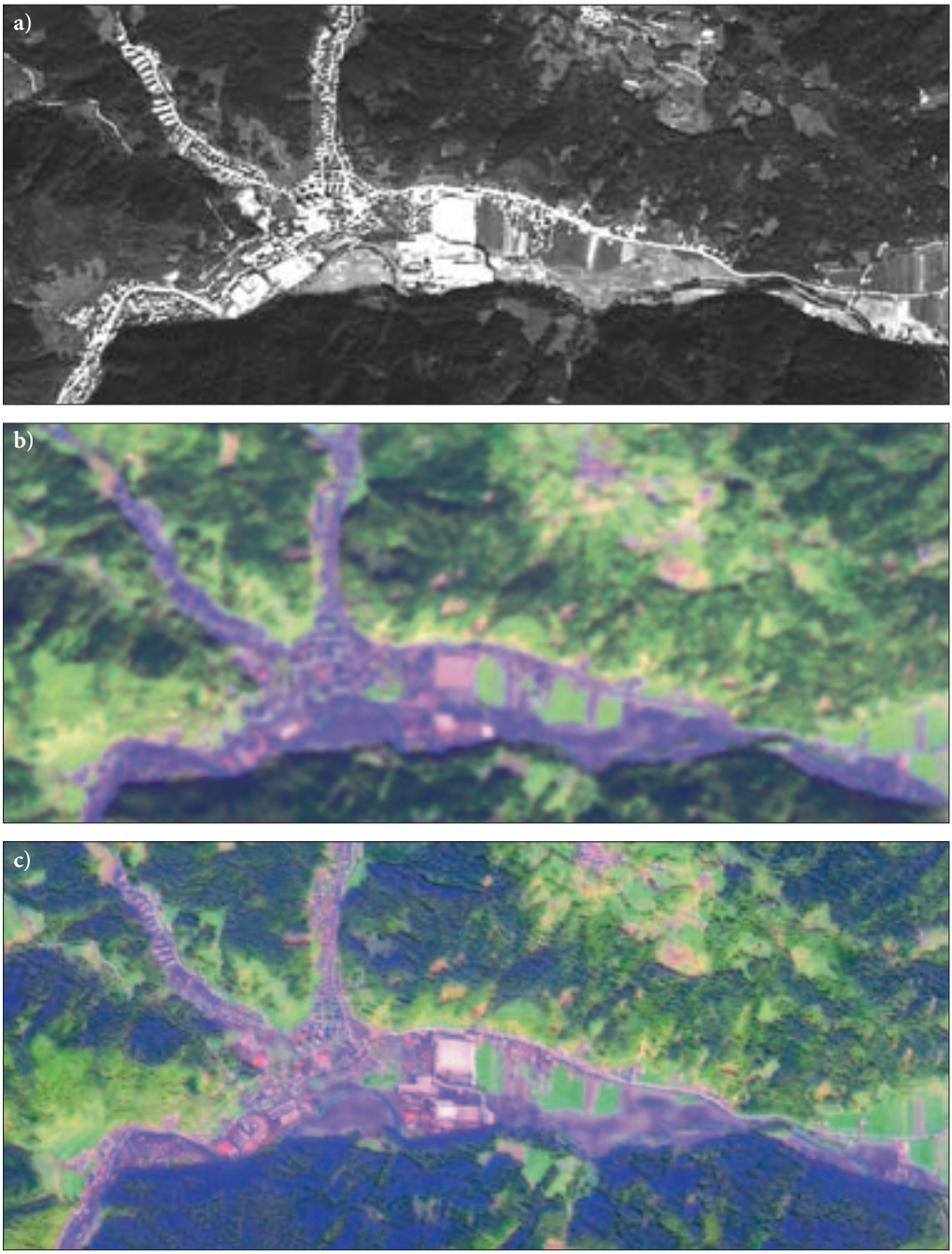
Za naš namen so bili mnogo uporabnejši posnetki optičnih snemalnih sistemov. Formosat je pet dni zapovrstjo opazoval zahodno študijsko območje, vendar geometrična kakovost posnetkov ni bila primerna za podrobne analize. Kljub deklarirani pankromatski ločljivosti 2 m so posnetki zamegljeni in kažejo na težave v delovanju senzorja. Poleg tega so bile podobe že delno rektificirane, ne pa usklajene med seboj, kar velja tudi za vse pare posnetkov (pankromatski in večspektralni). Par posnetkov IRS s pankromatsko ločljivostjo 5 m in večspektralno ločljivostjo 23,5 m je dobra izbira za kartiranje večjih območij, vendar so pojavi, ki smo jih želeli opazovati, zahtevali boljšo ločljivost. To so v celoti zadovoljili posnetki SPOT s pankromatsko ločljivostjo 2,5 m (slika 3a), ki smo jih imeli na razpolago za obe študijski območji in smo jih lahko primerjali z arhivskimi posnetki.

Po opravljenih geometričnih popravkih na vseh pridobljenih posnetkih smo se zato odločili, da podrobno obdelavo ter interpretacijo opravimo le s posnetki sistema SPOT.

3.2 Izostritev posnetka (*pan-sharpening*)

Pri tehniki izostritve posnetka spojimo večspektralne posnetke, ki imajo veliko spektralnih informacij in nizko prostorsko ločljivost, s pankromatskimi posnetki visoke prostorske ločljivosti. Rezultat združuje lastnosti obeh: ima visoko prostorsko ločljivost ter več kanalov (slika 3). Pri tem lahko z različnimi tehnikami (Pohl in van Genderen 1998) dosežemo različno kakovost rezultatov (Švab in Oštir 2004).

Pri izostritvi ortorektificiranih posnetkov SPOT smo uporabili *modificirano IHS* metodo spojitve, ki je nadgradnja običajne IHS metode (Tu s sodelavci 2002; Siddiqui 2003). Običajna IHS spojitev deluje na treh kanalih (Oštir 2006; Mather 2004). Najprej se večspektralni satelitski posnetek transformira v barvni prostor IHS (*Intensity/Hue/Saturation* oz. intenziteta/barva/nasičenost). Tam se intenziteto nadomesti z vrednostmi pankromatskega posnetka visoke prostorske ločljivosti. Nazadnje sledi transformacija v barvni prostor RGB (*Red/Green/Blue* oz. rdeča/zelena/modra). Modificirana IHS metoda omogoča iterativno izvajanje osnovne IHS spojitve ter s tem odpravlja omejitev na tri kanale (Siddiqui 2003). Ker ima večspektralna podoba SPOT štiri kanale, sta bili potrebni le dve iteraciji. Prva je zajemala prve tri kanale, druga pa zadnje tri. Prevzorčenje je bilo opraviljeno z bilinearno interpolacijo.



Slika 3: Primerjava posnetkov SPOT v različnih fazah obdelave – na vseh detajlni pogled na Železnike z okolico: a) ortorektificiran pankromatski posnetek ločljivosti 2,5 m; b) ortorektificiran večspektralni posnetek ločljivosti 10 m, kanali 4, 1 in 3; c) izostren večspektralni posnetek ločljivosti 2,5 m.

4 Interpretacija satelitskih posnetkov

Ker je vzhodno študijsko območje sistem SPOT posnel skoraj dva tedna po nesreči, na posnetku posledic neurja ni bilo mogoče več jasno prepoznati, smo zato interpretirali le zahodni del. Tu je bilo moč prepoznati posledice neurja, predvsem nanose blata in drugega gradiva. Razpoznavanje pa je bilo zahtevno: na pankromatskem posnetku se poplavljena območja ne ločijo od zemljišč podobne teksture (travniki, njive), na večspektralnem posnetku pa nobena kombinacija kanalov ne poda jasnega razlikovanja med pozidanimi in poplavljenimi zemljišči.

Razpoznavnost smo zato povečali z izboljšanjem kontrasta ter z analizo spektralnih odbojev. Pri kalibraciji vseh modelov smo se osredotočili na Železnike in okolico, saj so bila tam spremembe zaradi poplav najbolj razpoznavne.

4.1 Izboljšanje kontrasta

Pri tej metodi smo vizualno kombinirali barvno spremenjeni pankromatski in večspektralni posnetek. Prvemu smo povečali kontraste in hkrati zmanjšali svetlost, kar je omogočilo dobro vizualno ločitev med pozidanimi in drugimi (vključno s poplavljenimi) zemljišči (slika 4a). Pri večspektralnem posnetku smo za osnovo vzeli kombinacijo kanalov 4, 1 in 3. Ta je obetala največ, saj so pozidana in poplavljena zemljišča zelo jasno ločena od ostalih: so v vijolični barvi, pri čemer je bila vijolična barva poplavljenih območij rahlo temnejša od vijolične barve pozidanih zemljišč (slika 3b). Z ožanjem izhodnih barvnih variacij z metodo *linearnega raztega histograma z nasičenjem* (Oštir 2006; Richard in Jia 2006) smo dobili deformiran barvni prostor, v katerem so ostala le poplavljena območja (slika 4b).

Ko smo prekrili na ta način spremenjena posnetka, so vizualno izstopila poplavljena območja, in sicer kot vijolična barva na neenakomernem sivem ozadju (slika 4c). Postopek je subjektiven ter zahteva izkušnje in ponavljanje. Glavni izzivi metode ostajajo urbani elementi, njive (sploh, če so mokre ali pred kratkim orane) in oblaki.

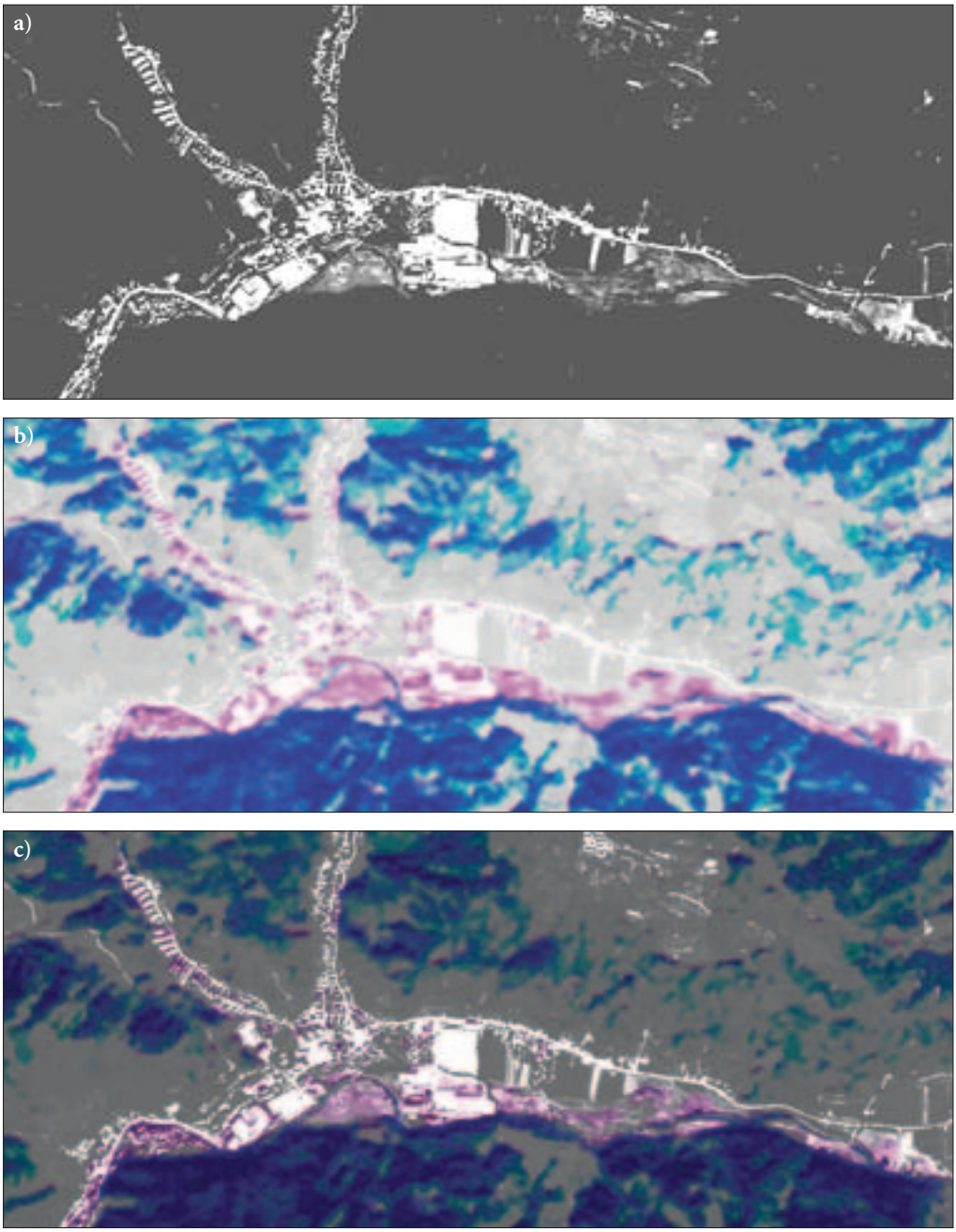
4.2 Samodejna detekcija prizadetih območij z analizo odbojnih vrednosti

Osnovna predpostavka uporabljene metode je, da se da določiti obseg spektralnih vrednosti površja (posameznih pikslov), da ga opredelimo za poplavljenega. Pri večspektralnem posnetku SPOT imamo na voljo štiri kanale, torej lahko določimo štiri intervale vrednostih. Ko so intervali določeni, preverimo vse piksle na posnetku in če za določen piksel vrednosti ležijo znotraj predvidenih vrednosti za vse štiri kanale, potem ta piksel z veliko verjetnostjo predstavlja poplavljeno območje. Če to velja za tri kanale, potem verjetno predstavlja poplavljeno območje, in če velja za manj kot tri kanale, najverjetneje ne gre za poplavljeno območje.

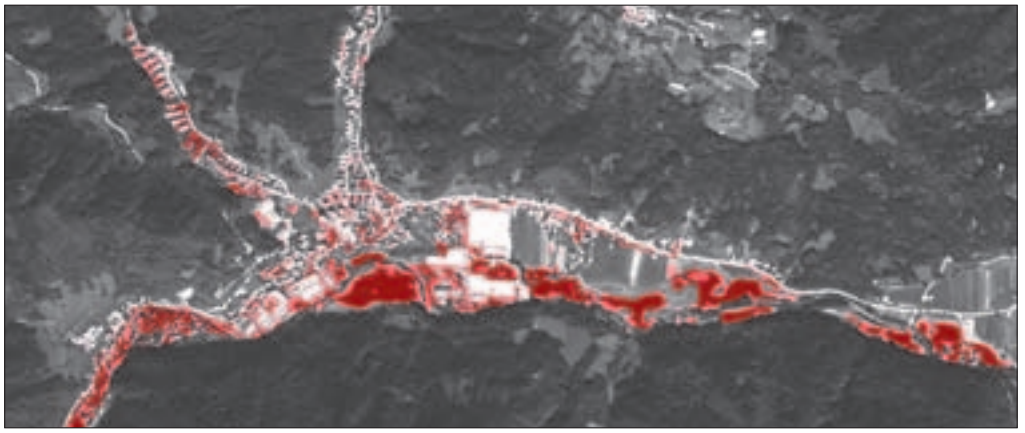
Metodo smo izvedli na izostrenem večspektralnem posnetku SPOT (slika 5). Intervali so bili empirično določeni na podlagi poplavljenih območij okoli Železnikov (preglednica 2). Glavni izzivi metode ostajajo polja, skalovje, reke in oblaki, pri čemer je reke je možno izločiti z hidrografskim vektorskim slojem in modelom reliefa.

Preglednica 2: Intervali dovoljenih vrednosti za posamezen kanal.

kanal	dovoljene vrednosti	kaj pade v ta interval	kaj pade iz intervala (nedvoumno izločeno)
1	150–255	poplavljeno, urbano, gozd	njive
2	140–255	poplavljeno, urbano, njive	gozd, travniki, nekatere njive
3	70–90	poplavljeno, gozd	svetlejše njive
4	90–110	poplavljeno, njive	pozidano, (temnejši) gozd



Slika 4: Interpretacija posnetka SPOT z izboljšanjem kontrasta – na vseh detajlni pogled na Železnike z okolico: a) spremenjen pankromatski posnetek (več kontrasta, manjša svetlost); b) spremenjen večspektralni posnetek, kanali 4, 1 in 3 (linearni razteg histograma z nasičenjem); c) na kombinaciji obeh so dobro vidna prizadeta območja.



Slika 5: Interpretacija izostrenega posnetka SPOT s spektralno analizo – detajlni pogled na Železnike z okolico. Rezultat je raster verjetnosti, kjer temno oz. svetlo rdeča označujeta območja, ki so bila poplavljena z veliko oz. srednjo verjetnostjo. Podlaga je pankromatski posnetek SPOT.

5 Kartiranje rezultatov

Rezultate smo kartirali na liste A2 pokončne orientacije. Karte smo pripravili dvojezično slovensko-angleško, kar omogoča hkratno uporabo za domačega naročnika ter za mednarodni program. Karte imajo oznake mreže državnega koordinatnega sistema D48 ter so opremljene s tekstovnim in grafičnim gradivom: navedbo izvornih podatkov, opisi obdelave, analize ter interpretacije, pregledno karto in legendo.

Za zahodni del smo pripravili štiri pregledne karte v merilu 1 : 150.000, za vzhodnega pa v merilu 1 : 100.000:

- karta z digitalnim modelom višin ter z mesti, železnicami, cestami in glavnimi rekami;
- karta z izostrenim satelitskim posnetkom SPOT ločljivosti 2,5 m, prikazanim v lažnih barvah, poplavljena območja so razvidna, deloma težko ločljiva od pozidanih;
- karta s satelitskim posnetkom IRS P6, ločljivosti 23,5 m, prikazanim v lažnih barvah, poplavljena območja so slabše razvidna;
- kompozitna karta Envisat (samo za zahodni del), na kateri sta združena posnetka približno 2 meseca pred neurjem ter 12 dni po njem, na karti je zaznati področja večje vlažnosti, podrobna interpretacija pa je zaradi reliefne razgibanosti in šuma skoraj nemogoča.

Podrobne karte smo pripravili v merilu 1 : 25.000, in sicer 23 kart za zahodni del ter 11 kart za vzhodni del. Na kartah smo prikazali izostren satelitski posnetek sistema SPOT. Primer karte prikazuje slika 6.

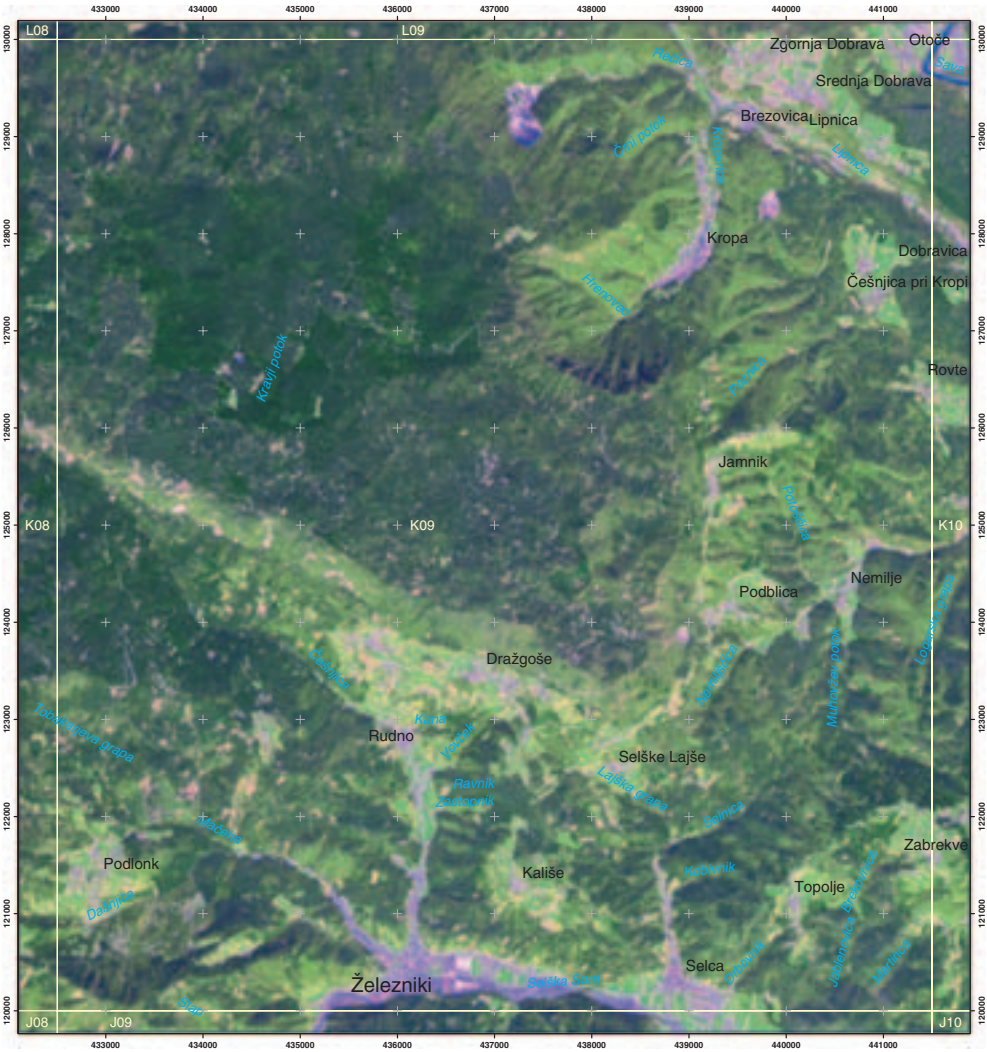
6 Sklep

V širši sklop aktivnosti pri reševanju posledic katastrofalnih poplav iz 18. septembra 2007 smo se vključili tudi na Inštitutu za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU, in sicer kot lokalni partner pri aktivaciji mednarodnega programa »Vesolje in velike nesreče«. V okviru aktivacije smo prejeli 25 satelitskih posnetkov sistemov Envisat, Formosat, IRS, Radarsat in SPOT, zajetih pred nesrečo (arhivskih) ali po njej (aktualnih). Z njihovo obdelavo in interpretacijo smo skušali oceniti obseg poplavljenih območij.

Storm / Neurje 18. 9. 2007

State / Stanje 21. 9. 2007

Map / Karta: Železniki



Legend / Legenda

- forest / gozd
- agriculture / kmetijska zemljišča
- rock / skalovje
- built-up / pozidano
- flooded / poplavljeno
- landslide / plaz

Processing and analysis

– SPOT satellite image georeferencing
– pan-sharpening
– image enhancement

Obdelava in analiza

– georeferenciranje posnetkov SPOT
– ostrenje barvnega s pankromatskim posnetkom
– izboljšava kontrasta

Interpretation

SPOT image, taken on the September 21st 2007 at 9:48 GMT, is shown in false colours (bands 3 (near infrared), 4 (middle infrared) and 2 (red) are shown as RGB colours). The multispectral image has been sharpened with the panchromatic band to the 2,5 m resolution. Forests are shown in dark green, grasslands in bright green, roads in white, rivers in pink, settlements in a combination of turquoise and pink, the flooded area in violet casts and the agricultural land in brown. Areas affected by the storm can be clearly seen.

Interpretacija

Na satelitski karti je v lažnih barvah prikazan posnetek sistema SPOT, ki je bil zajet 21.9.2007, ob 9:48. V RGB so prikazani kanali 3, 4 in 2, to je bližnji infrardeči, srednji infrardeči in rdeči. Posnetek ima ločljivost 2,5 m. Gozdovi so vidni temno zeleno, travniki svetlo zeleno, ceste belo, reke roza, naselja v kombinaciji turkizne in roza barve, poplavna območja v odtenkih vijolične in kmetijska zemljišča v rjavi. Jasno so vidna območja, ki jih je prizadelo neurje.

0 500 1000 2000 m

Scale 1 : 25.000 for A2 printing
Slovenian national coordinate system D48
Projection: Gauss-Krueger
Spheroid: Bessel 1841

Merilo pri tisku na A2:1 : 25.000
Državni koordinatni sistem D48
Projekcija: Gauss-Krueger
Elipsoid: Bessel 1841

Data sources / Viri podatkov

vector data / vektorski podatki © GU RS 2007
vector data / vektorski podatki © ZRC SAZU 2007
SPOT5 © SPOT Image 2007

ZRC SAZU
Institute of Anthropological and Spatial Studies
Inštitut za antropološke in prostorske študije
http://iaps.zrc-sazu.si/

2007

◄ *Slika 6: Primer podrobne karte v merilu 1 : 25.000. Večspektralni posnetek satelita SPOT, izostren s pankromatskim na ločljivost 2,5 m, je prikazan v lažnih barvah, ki omogočajo najlažjo prepoznavnost poplavljenih območij. V rdeči, zeleni in modri barvi so prikazani kanali 4, 1 in 2. Poplavljena območja so vidna v temno vijolični barvi, naselja so v kombinaciji vijolične in roza barve, zorane njive so roza, vode modre, travniki svetlo zeleni in gozdovi temno zeleni.*

Posnetki sistemov Envisat in Radarsat, ki delujeta v mikrovalovnem območju in na katerih je običajno mogoče odlično zaznavati vlago ter površinske vode, se niso izkazali za uporabne, saj je voda odtekla pred prvimi snemanji, poleg tega pa je opazovani relief manj primeren za radarsko snemanje. Posnetki optičnih snemalnih sistemov, zlasti posnetki SPOT, so bili bolj primerni za naš namen. Odločilni faktorji za to so bili visoka prostorska ločljivost, dobra geometrija snemanja, odlične radiometrične lastnosti in primerna spektralna ločljivost. Posnetki SPOT so bili zajeti v idealnih vremenskih pogojih 3 (zahodno študijsko območje) oz. 12 dni (vzhodno) po neurju. Obdelali smo jih z uveljavljenimi algoritmi. Geometričnim popravkom je sledila izostritev večspektralnih posnetkov s pankromatskimi. Poplavna območja smo identificirali z metodo izboljšanja podob (povečevanje kontrasta, raztegovanje histograma) ter z modelom samodejne detekcije na podlagi odbojnih vrednosti. Metodi sta subjektivni in ne povsem natančni, vendar obe podata območja, ki so bila z veliko verjetnostjo poplavljena.

Za Upravo RS za zaščito in reševanje smo rezultate kartirali na preglednih kartah v merilih 1 : 150.000 (zahod) in 1 : 100.000 (vzhod) ter na detajlnih kartah v merilu 1 : 25.000. Karte prikazujejo tako surove satelitske posnetke z interpretacijskim ključem kot tudi modelirane rezultate. Naročnik je podatke uporabil pri analizi širšega območja ter pri primerjavi stanja po nesreči s stanjem pred njo.

Aktivacija je pokazala na koristnost, predvsem pa operativnost programa »Vesolje in velike nesreče«. Komunikacija med vsemi partnerji je bila odlična, rezultati (karte) pa so bili vključeni v proces ocenjevanja škode in rekonstrukcije. Kakovost pridobljenih podatkov (predvsem posnetkov SPOT) je bila primerna za izvedbo načrtovanih analiz. Hitrost dostave in obdelave podatkov trenutno zadošča za analizne aktivnosti, za potrebe samih reševalnih operacij na terenu pa ne.

Kljub temu, da je aktivacija zaključena in so karte predane naročniku, bomo z delom nadaljevali, predvsem v smeri optimizacije, avtomatizacije in s tem pospešitve vseh algoritmov in postopkov.

Zahvala

Satelitski posnetki za študijo so bili pridobljeni v okviru programa »Vesolje in velike nesreče«. Pri aktivaciji smo intenzivno sodelovali s Tobiasom Schneiderhanom (DLR), Philippejem Ballyom (ESA), Guillermom Toyosom (CONAE) in Srečkom Šestanom (Uprava RS za zaščito in reševanje). Vsem se zahvaljujemo za pomoč.

7 Viri in literatura

ARSO 2008: Visoke vode in poplave 18. septembra 2007. Medmrežje: http://www.arso.gov.si/vode/publikacije in poro%C4%8Dila/Visoke vode in poplave 18. septembra 2007.pdf (29. 2. 2008).

Guha-Sapir, D., Hargitt, D., Hoyois, P. 2004: Thirty Years of Natural Disasters 1974–2003 – The Numbers. Medmrežje: http://www.em-dat.net/documents/Publication/publication_2004_emdat.pdf (20. 2. 2008).

Marsetič, A., Oštir, K. 2007: Uporaba satelitskih posnetkov SPOT za izdelavo ortopodob. Geodetski vestnik 51, 1. Ljubljana.

Mather, P. M. 2004: Computer Processing of Remotely Sensed Images: an Introduction. Chichester.

Medmrežje: http://www.disasterscharter.org/main_e.html (20. 2. 2008).

Oštir, K. 2006: Daljinsko zaznavanje. Ljubljana.
Oštir, K., Kokalj, Ž., Marsetič, A., Pehani, P., Schneiderhan, T. 2007: Floods and landslides in Slovenia, Space and major disasters – activation No. 179. Strokovno poročilo, Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU, German Aerospace Center (DLR). Ljubljana, München.
Oštir, K., Veljanovski, T., Podobnikar, T., Stančič, Z. 2002: Uporaba daljinskega zaznavanja pri opazovanju plazu v Logu pod Mangartom. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2001–2002. Ljubljana.
Pohl, C., van Genderen, J. L. 1998: Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications. International Journal of Remote Sensing 19-5. London.
Richard, J. A., Jia, X. 2006: Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction. Berlin.
Siddiqui, Y. 2003. The Modified IHS Method for Fusing Satellite Imagery. Proceedings of the ASPRS 2003 Annual Conference. Anchorage.
Švab, A., Oštir, K. 2004: Vpliv podobnosti pankromatske podobe in podobe intenzitete na spojeno podobo. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2003–2004. Ljubljana.
Tu, T. M., Su, S., Shyu, H., Huang, P. S. 2002: A new look at IHS like image fusion methods. Information Fusion 2–3. Amsterdam.

HIDROLOŠKI PROGNOSTIČNI SISTEM: UPORABA PROSTORSKIH PODATKOV

Nejc Pogačnik, mag. Leon Gosar
Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani
nejc.pogacnik@fgg.uni-lj.si, leon.gosar@fgg.uni-lj.si

dr. Christoph Roch
Joanneum research, Institute of Water Resources Managment – Hydrogeology and Geophysics, Gradec, Avstrija
christophe.ruch@joanneum.at

UDK: 556.06:659.2:004
COBISS: 1.17

IZVLEČEK
Hidrološki prognostični sistem: uporaba prostorskih podatkov
Pri zasnovi prognostičnega hidrološkega sistema je treba zagotoviti odprto in fleksibilno okolje v katerega se lahko vgradi večje število matematičnih modelov. Zagotoviti je treba predvsem možnosti za prikaz, analizo in delo z različnimi meteorološkimi, hidrološkimi hidravličnimi in prostorsko analitskimi orodji oz. modeli. Pri izgradnji prognostičnega sistema na reki Muri je bil izbran sistem Mike Flood Watch kot moderen avtomatski kontrolni sistem, ki združuje naloge upravljanja s podatki, vodenja prognostičnih modelov in predstavitve rezultatov v spletnem pregledovanju prostorskih podatkov. Predstavljeni so vzroki in realne potrebe po prognostičnih modelih, predstavitev delovanja prognostičnega sistem na reki Muri in potrebne podatkovne podlage za operativno delovanje opozorilnih sistemov s pomočjo spletnega pregledovanja prostorskih podatkov.

KLJUČNE BESEDE
prognostični sistem, matematični modeli, Mura, hidrološki model, hidravlični model, kritična infrastruktura, geografski informacijski sistem

ABSTRACT
Hydrological forecasting system: Spatial data management
For forecasting system it is essential to work in an open and flexible graphical environment, which could be applied to many different mathematical models. The essential parts of the software are possibilities for analysis and modelling in different meteorological, hydrological hydraulical and spatial analyses models. In the development for the Mura forecasting system the chosen and applied system was Mike Flood Watch. This software is modern, robust, but flexible solution through which we are able to run management of gained data, running mathematical models and presenting the results. There are defined some basic reasons for forecasting models with presentation of applicative solution on the Mura watershed. All through are presented required spatial data for development and web review of warning systems.

KEY WORDS
forecasting system, mathematical models, Mura, hydrological model, hydraulical model, critical infrastructure, geographical information system

1 Zakaj prognostični (opozorilni) sistemi?

Na Slovenskem poplave ogrožajo več kot 300.000 hektarjev površin. Največji del poplavnega sveta (237.000 ha) je v ozkih dolinah vzdolž hudourniških grap (URSZR 2008). Poplave se medsebojno razlikujejo in lahko glede na tip vodotoka (gorski, ravninski), obseg, relief, jakosti padavin, trajanje in povzročajo različne oblike nevarnosti. Posledično so tudi škode zelo različne. Najbolj silovite, najhitrejše in hkrati tudi prognostično najzahtevnejše so hudourniške poplave *flash-flood*, ki nastajajo v goratih in hribovitih povirnih delih Slovenije. Značilna je njihova velika erozijska moč in velike količine plavin in plavja, ki zmanjšuje potrebno prepustnost strug in vodne infrastrukture (prepusti, nižji mostovi …). V srednjem in spodnjem toku večjih rek zaradi preseganja pretočnih zmogljivosti rečnih strug in razlik v hitrosti dotekanja visokih voda v sotočjih, nastanejo dolinske poplave. Visoke vode lahko ob veliki intenziteti tudi porušijo obstoječe gradbene protipoplavne ukrepe, kar dodatno ogroža življenja, poveča škodo na infrastrukturi, objektih in kmetijskih zemljiščih.

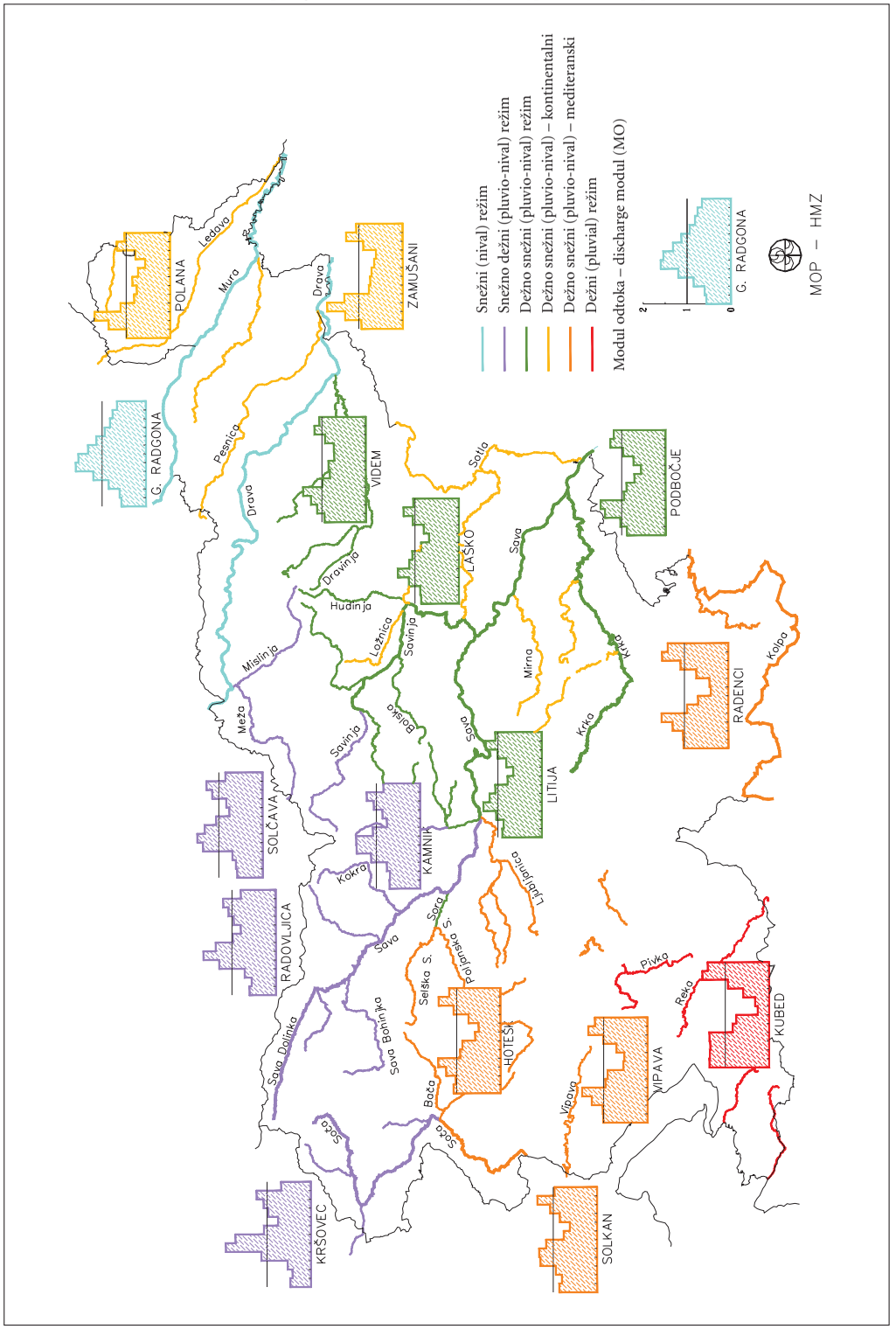
V Sloveniji imamo pet vodnih območij (Mure, Drave, Save, Soče, vodno območje Jadranskega morja brez Soče). Vodno območje reke Mure lahko razdelimo na mejno Muro, na mejnem odseku Republike Slovenije z Avstrijo, notranjo Mura do meje z Madžarsko in pritokoma Ledava iz območja Goričkega, ter pritok reke Ščavnice, z izvirom na severnem delu Slovenskih goric. Reka Mura je v Vodni bilanci, ki je bila izdelana na Hidrometeorološkem zavodu Slovenije na podlagi srednjih mesečnih pretokov iz obdobja 1961–1990 (Kolbezen 1998), opredeljena kot reka, ki ima snežni režim oz. po členitvi, ki jo je leta 1933 izdelal francoski hidrograf M. Parde in kasneje kot osnovo povzel Ilešič leta 1948, prehodni snežni režim (Hrvatin 1998, 63 in 64). Enostavni tip snežnega režima lahko definiramo kot: en višek in nižek; višek ob prehodu pomladi v poletje (maj, junij); nižek pozimi (januar, februar); snežni zadržek pet ali več mesecev (Srebrnič, Mikoš 2005). Glede na zadnjo obravnavo sprememb pretočnih režimov je vodno območje reke Mure po izdelani členitvi opredeljeno kot alpsko snežno-dežni (nivo-pluvialni) režim. Medtem ko imata oba pritoka Ledava in Ščavnica panonsko dežno-snežni (pluvio-nivialni) režim (Frantar, Hrvatin 2005, 117).

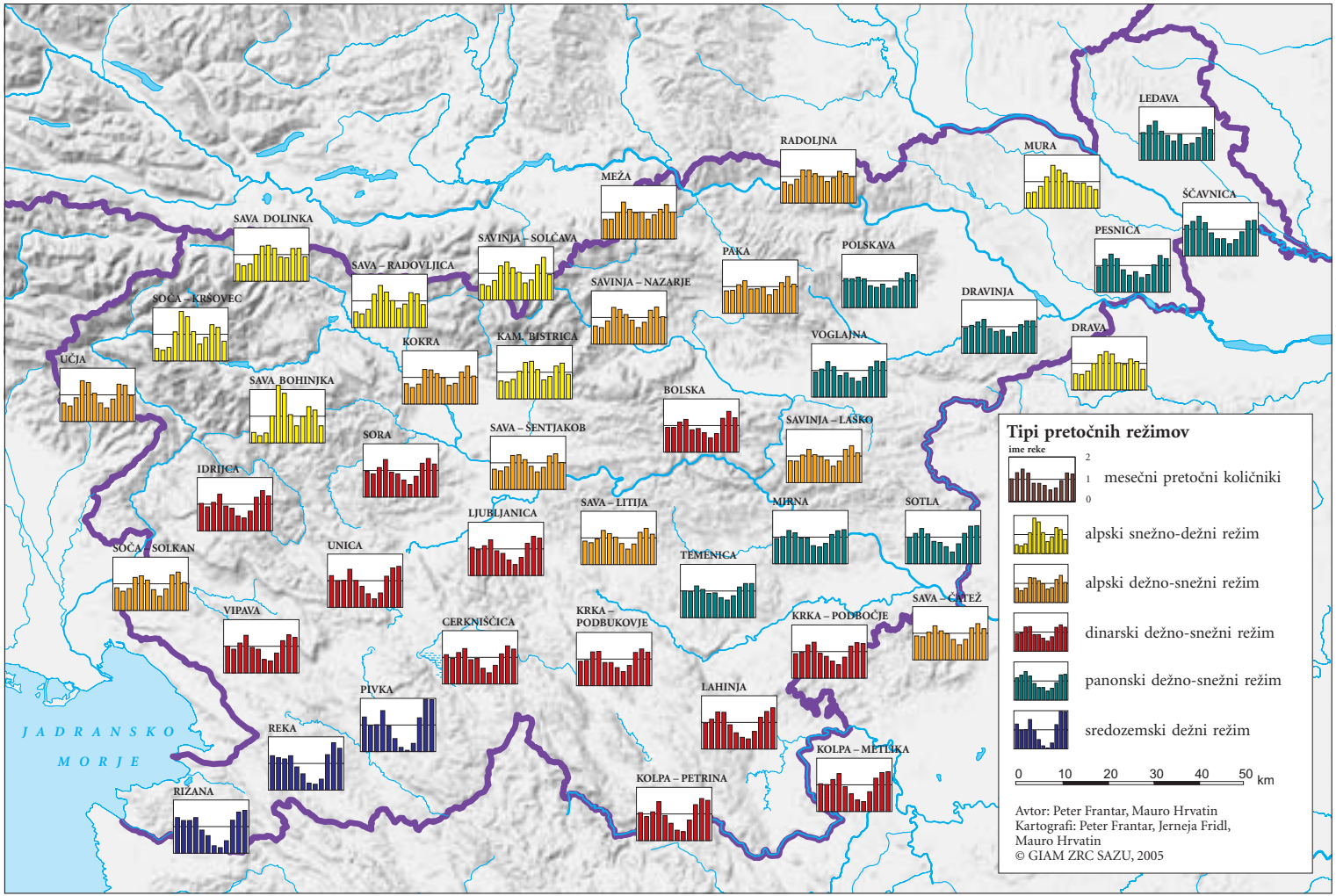
Na podlagi grobega poznavanja odzivnosti vodnega telesa lahko predvidevamo obdobje in vrsto poplavne ogroženosti. Ne uspemo pa zagotoviti ustrezno hitrega odziva za zaščito pred škodljivim delovanjem voda, v kolikor ne obstoja kakovosten monitoring s tehnično prognostično nadgradnjo meteorološke in hidrološke službe. Delovanje na področju varstva pred škodljivim delovanjem voda je zaobjeto v načrtih za upravljanje z vodami na vodnih območjih. Vsebinsko se deli na dva sklopa. Prvi del se nanaša na gradbeno tehnične protipoplavne ukrepe (gradnja protipoplavnih objektov), drugi del na negradbene protipoplavne ukrepe. Med negradbene protipoplavne ukrepe umeščamo ustrezno načrtovanje rabe prostora, določanje poplavne ogroženosti in razvoj opozorilnih sistemov, ki se medsebojno sistemsko povezujejo. Pri izvajanju le teh smo lahko učinkoviti le, če so opozorila meteorološke in hidrološke prognostične službe izdana dovolj zgodaj. Na osnovi opozoril je možno izvesti začasne protipoplavne ukrepe in s tem omejiti ali preprečiti posledice predvidenega poplavnega dogodka.

2 Razvoj prognostičnega sistema na reki Muri

Prekomejni sistem za napovedovanje pretokov na reki Muri je bil izdelan pod okriljem EU INTERREG IIIB CADSES programa – Projekt *Flussraumagenda Alpenraum*, ki je bil v teku med majem 2003 in februarjem 2006. Porečje reke Mure obsega območja štirih držav: Avstrije (10.000 km^2), Slovenije (1400 km^2), Madžarske (1900 km^2) in Hrvaške (500 km^2). V okviru komisije za reko Muro je bil sprejet

Slika 1: Tipi rečnih režimov (Kolbezen 1998, 28) ► *(str. 129)*
Slika 2: Tipi rečnih režimov (Frantar, Hrvatin 2005, 123) ► *(str. 130)*


Snežni (nival) režim
Snežno dežni (pluvio-nival) režim
Dežno snežni (pluvio-nival) režim
Dežno snežni (pluvio-nival) – kontinentalni
Dežno snežni (pluvio-nival) – mediteranski
Dežni (pluvial) režim
Modul odtoka – discharge modul (MO)
G. RADGONA
MOP – HMZ
POLANA
ZAMUŠANI
VIDEM
PODBOČJE
LAŠKO
RADENCI
LITIJA
SOLČAVA
KAMNIK
RADOVLJICA
HOTEŠK
VIPAVA
KUBED
SOLKAN
KRŠOVEC
Ledava
Mura
Pesnica
Drava
Dravinja
Hudinja
Ložnica
Savinja
Meža
Mislinja
Bolska
Sava
Mirna
Krka
Kolpa
Ljubljanica
Sora
Selška S.
Poljanska S.
Sava Bohinjka
Sava Dolinka
Soča
Bača
Idrijca
Vipava
Pivka
Reka


LEDAVA
MURA
RADOLJNA
MEŽA
ŠČAVNICA
PESNICA
SAVA_DOLINKA
SAVINJA – SOLČAVA
PAKA
POLSKAVA
SAVA – RADOVLJICA
SAVINJA – NAZARJE
DRAVINJA
SOČA – KRSOVEC
KOKRA
KAM. BISTRICA
VOGLAJNA
DRAVA
UČJA
SAVA_BOHINJKA
BOLSKA
SAVA – ŠENTJAKOB
SAVINJA – LAŠKO
SORA
IDRIJCA
SAVA – LITIJA
MIRNA
SOTLA
LJUBLJANICA
SOČA – SOLKAN
UNICA
TEMENICA
SAVA – ČATEŽ
VIPAVA
KRKA – PODBUKOVJE
KRKA – PODBOČJE
CERKNIŠČICA
PIVKA
LAHINJA
JADRANSKO MORJE
REKA
KOLPA – METLIKA
RIŽANA
KOLPA – PETRINA
Tipi pretočnih režimov
ime reke
2
1
0
mesečni pretočni količniki
alpski snežno-dežni režim
alpski dežno-snežni režim
dinarski dežno-snežni režim
panonski dežno-snežni režim
sredozemski dežni režim
0 10 20 30 40 50 km
Avtor: Peter Frantar, Mauro Hrvatin
Kartografi: Peter Frantar, Jerneja Fridl, Mauro Hrvatin
© GIAM ZRC SAZU, 2005

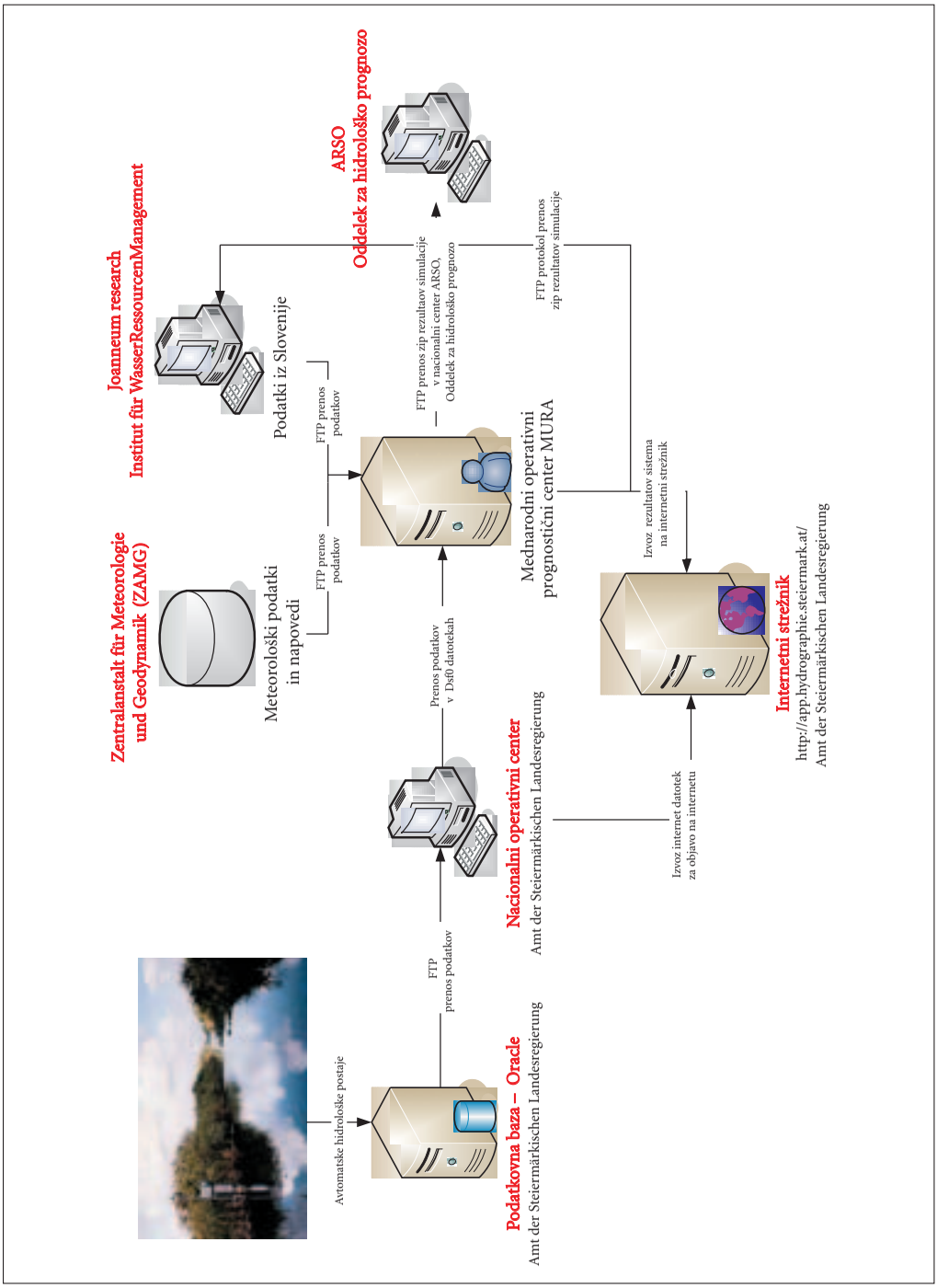
dogovor o sodelovanju Slovenije in Avstrije pri vzpostavitvi skupnega prognostičnega sistema. Glavni izzivi so temeljili na povezovanju dveh sosednjih držav, saj je bilo treba vzpostaviti prenos podatkov, združiti hidrološko in hidravlično modeliranje ter objavo prostorsko odvisnih rezultatov na spletnih straneh v realnem času. Pri izgradnji sistema so za dolvodne države pomembni podatki, ki so pridobljeni višje v porečju, kot tudi od podatkov, ki jih zagotovijo same za potrebe ustreznega spremljanja okolja. Ta dejstva nakazujejo tudi obliko skupne rešitve in njene dejanske tehnične izvedbe. Izoblikovala se je rešitev, ki je predvidevala izgradnjo dveh nacionalnih centrov in mednarodnega skupnega centra nameščenega v Gradcu. Ob takšni rešitvi je treba poudariti, da nacionalna centra delujeta vzporedno z mednarodnim in obenem neodvisno od njega. Sistem temelji na enostavnem in sorazmerno hitrem operativnem sistemu, ki deluje v Windows okolju. Pomemben poudarek pri izgradnji je bil dan na zanesljivem zagotavljanju čimbolj natančnih rezultatov prognoz. Upoštevan je bil model taljenja snega v Alpah, določitev poplavnih površin na jugu Avstrije z upoštevanjem teoretičnega delovanja hidroelektrarn vzdolž reke Mure v Avstriji (Ruch s sodelavci 2006). Glede na geografske značilnosti je razvoj visokovodnega dogodka pogojen predvsem z meteorološkimi razmerami v Avstriji. Tveganje posledic poplav pa si delijo vse države na območju porečja reke Mure. Kompleksni hidrološki režim ima ključno vlogo pri odzivu porečja v visokorodnih dogodkih. Pozimi so Alpe prekrite s snegom in večino padavin se shrani v obliki snežne odeje ali ledenikov. Ko se spomladi prične sneg zaradi višjih temperatur taliti, lahko ob kombinaciji z izdatnejšimi padavinami, prihaja do poplav.

3 Pomembnost podatkov za prognostične (opozorilne) sisteme

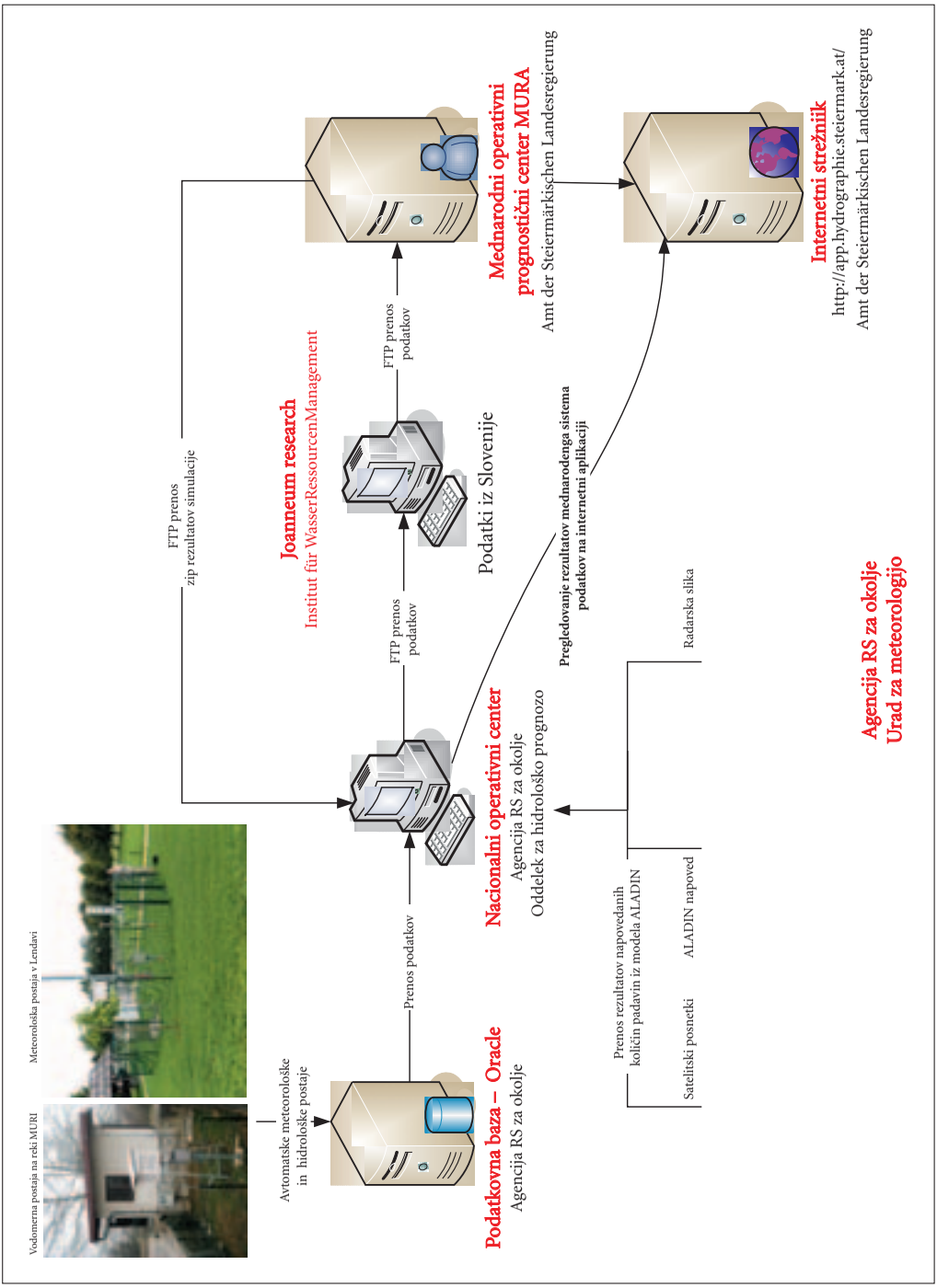
Izgradnja vsakega opozorilnega sistema je odvisna predvsem od niza (nabora in kvalitete podatkov s katere uporabljamo za matematične modele znotraj sistemov. Odvisnost opozorilnih sistemov (modelov) od kvalitetnih, kontinuiranih opazovanj je z razvojem hidroloških modelov vedno večja. Za ustrezno opozorilno delovanje je zelo pomemben hiter prenos podatkov iz meteo-hidroloških postaj v sistem. Tako so snovalce sistema čakali glavni izzivi predvsem pri združevanju pridobljenih podatkov iz obeh nacionalnih hidrometeoroloških metričnih mrež, ki so kot ločeni vhodni podatki nato združeno dostopni obema nacionalnima centroma. Hkrati centra prenašata podatke iz nacionalnih (deželnih) podatkovnih baz, jih odlagata na skupen strežnik, kjer se združijo in zažene se simulacija. Izračuni in združeni vhodni podatki se nato z mednarodnega centra prenašajo v nacionalne centre. Strokovnjaki v nacionalnih centrih v Gradcu (*Amt der Steiermärkischen Landesregierung*) in v Ljubljani (Agencija Republike Slovenije za okolje, Oddelek za hidrološko prognozo) lahko izdelajo nove spremembe in simulacije glede na trenutne potrebe in tako nadgradijo informacije, ki jih zagotovi avtomatski mednarodni center.

4 Izmenjava podatkov v realnem času

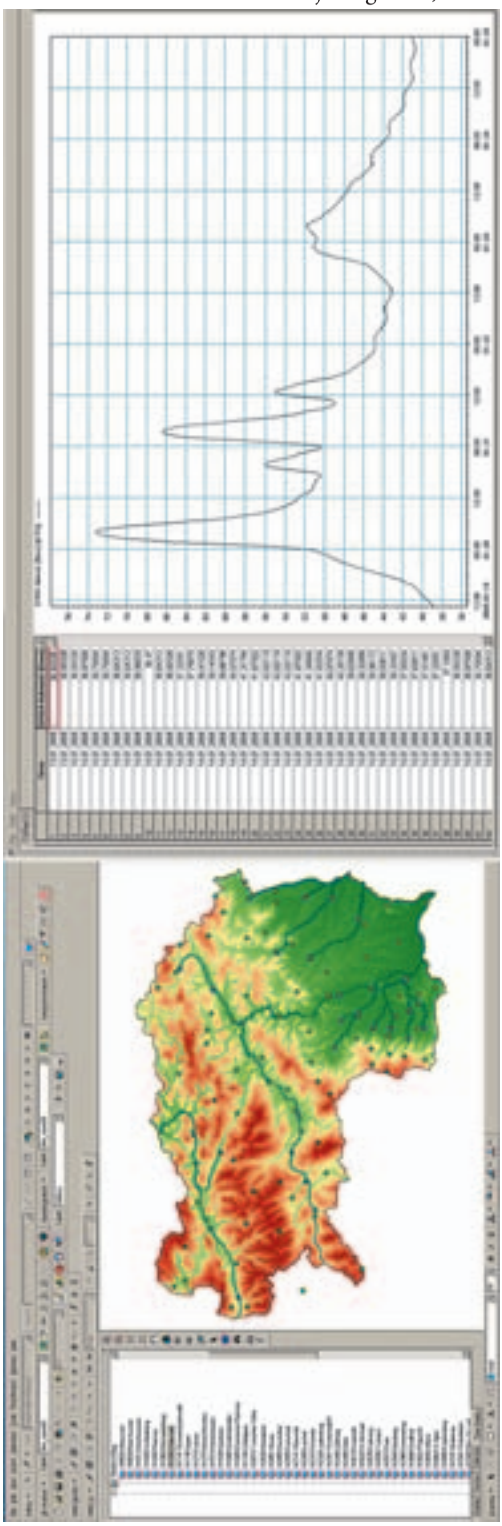
Tok podatkov pa se med obema državama nekoliko razlikuje. Slovenija ima precejšnjo prednost v svoji povezanosti meteorološke in hidrološke službe, ki delujeta skupno pod okriljem Agencije Republike Slovenije za okolje. Na drugi strani imajo na Avstrijskem Štajerskem nekoliko več težav s povezovanjem institucij, ki delujejo na področju spremljanja meteoroloških in hidroloških vhodnih podatkov. Medtem ko deželna vlada Avstrijske Štajerske samostojno obvladuje hidrološki monitoring, pridobivajo meteorološke podatke in napovedi iz Nacionalnega meteorološkega in geofizikalnega inštituta Republike Avstrije – *Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik* (ZAMG) (slika 3). Tok podatkov iz Slovenije in rezultati simulacij iz mednarodnega centra se izmenjujejo preko ftp protokola, ki je nameščen v *Joanneum Reseach*-u, kjer se hranijo podatki za primer varnosti ob daljšem prenehanju delovanja mednarodnega centra in obenem sočasne kontrole zapisa podatkov (sliki 3 in 4). S povezovanjem in



Slika 3: Organizacija izmenjave podatkov na Avstrijskem Štajerskem.



Slika 4: Organizacijska shema izmenjave podatkov iz Slovenije do mednarodnega centra.



Slika 5: Prikaz meteoloških in hidroloških podatkov iz avtomatskih postaj v GIS okolju prognostičnega modela.

sodelovanjem obeh hidroloških služb se je močno povečalo medsebojno zaupanje v delo obeh institucij. Sočasno se podrobneje spoznava delovanje in organiziranost obeh hidroloških služb, načina zbiranja podatkov, izvajanja meritev in ravnanja s podatki.

Ključni podatki, ki so potrebni za delovanje sistema so urna količina padavin in izmerjeni vodostaji oz. pretoki, izmerjena temperatura zraka in izračunane predvidene padavine (meteorološki model ALADIN) za posamezno državo. Zbrani podatki s prenosom v realnem času omogočajo delovanje sistema in vsakodnevno prognozo vodostajev oz. pretokov v izbranih profilih.

Vsi podatki so za Avstrijsko Štajersko (*Amt der Steiermärkischen Landesregierung*) predstavljeni v spletni GIS aplikaciji, kjer so podani osnovni podatki o vodostajih površinskih in podzemnih vod ter podatki iz meteoroloških postaj. Podrobnejši pregled delovanja postaj, obdelavo podatkov v različne namene lahko po potrebi opravimo z dodatnimi zagoni prognostičnega sistema (slika 5).

Pri vzpostavitvi modelov je bilo za potrebe izgradnje treba zagotoviti tudi druge topografske, geometrijske in analitske podatke obeh hidroloških in meteoroloških služb. Le-ti so bili uporabljeni tekom vzpostavitve geografskega informacijskega sistema ARC GIS 9.x (digitalni model reliefa, lokacija posameznih postaj, mreža postaj), v katerega so se nato vpenjali podatki iz avtomatskih hidrometeoroloških postaj in rezultati prognostičnega sistema. Za potrebe izgradnje hidravličnega in hidrološkega modela so bili zbrani obstoječi prečni profili reke Mure in pomembnejših pritokov, pokrovnost tal, podatki o evapotranspiraciji ipd. Zaradi več hidroelektrarn v spodnjem delu toka reke Mure v Avstriji je bilo v sistem vključeno tudi obratovanje hidroelektrarn, za katere so pretoki preko turbin določeni glede na predpostavljene razmere in izračune. Za dokončno izgradnjo modelnega okolja so potrebni še podatki o preteklih visokovodnih dogodkih, s katerimi si pomagamo pri umerjanju (kalibriranju) parametrov v modelih.

5 Vodenje in modeliranje v prognostičnem sistemu

Pri modeliranju v vodarstvu se srečujemo z veliko problemi, ki so si pogosto zelo različni. Skupni imenovalec je voda, njeno gibanje, količina, kakovost, uporaba ali varovanje pred njo. Raznolikost problemov je posledica hidrološkega kroga in več ko vemo o tem procesu, bolje ko ga znamo matematično opisati, tem lažje opredelimo merila za ustrezno ravnanje v času povečane intenzivnosti padavin oz. povečanega pretoka.

Glede na uporabo v določenem delu hidrološkega kroga lahko modele, potrebne za izgradnjo prognostičnega (opozorilnega) sistema, razdelimo na: meteorološke, hidrološke, hidravlične.

Z meteorološkimi modeli se srečujemo pri modelinaju vodnih procesov povsem posredno, saj rezultati meteoroloških modelov predstavljajo vhodne podatke za uporabljene hidrološke modele. Najbolj pomembni podatki z vidika nadaljnje uporabnosti v hidroloških modelih so količina in porazdelitev padavin ter temperatura zraka. Za potrebe mednarodnega prognostičnega modela Mure zagotavljata vhodne meteorološke modelne napovedi Agencija Republike Slovenije za okolje, Urad za meteorologijo in ZAMG iz Avstrije. V obeh državah nastajajo meteorološke 48 urne napovedi s pomočjo meteorološkega modela ALADIN, ki se osvežujejo enkrat dnevno iz Slovenije in dvakrat dnevno iz Avstrije.

Kot hidrološki model je v sistemu uporabljen konceptualni model NAM. Model je primeren za kontinuirano modeliranje, saj je hidrološki krog opisan kot medsebojno povezane posode z vodo, pri čemer so zakonitosti prehajanja vode med njimi opredeljene s fizikalnimi parametri modelnega področja. Zaradi zveznega določanja vlage v tleh ga lahko opredelimo tudi kot kontinuiran model (Ruch s sodelavci 2006). Uporabljamo ga lahko neodvisno ali v kombinaciji s hidravličnim modelom in za katerega ustvarjamo točkovni ali lateralni dotok v obravnavani rečni mreži.

Hidravlični model v sistemu zagotavlja propagacijo vode po rečni mreži, ki jo simuliramo in analiziramo s hidravličnim modelom MIKE 11. Hidravlične modele uporabljamo kadar nas zanima potek gladin oz. tlakov in hitrosti. Mike 11 sodi v družino ednodimenzonalnih hidravličnih modelov s katerimi

opisujemo tok s prosto gladino. Model temelji na Saint-Venantovih enačbah (DHI – Water and Enviroment 2005, 425), ki se rešujejo z uporabo *double sweep* algoritma. Rešujemo lahko posamezne rečne odseke ali celotno rečno mrežo. Računska mreža izmenično izračunava Q (pretok) in vodostaj (H). Na vseh prečnih prerezih je podan vodostaj, medtem ko so izračuni pretokov podani v točki med posameznima prečnima prerezoma in na zahtevanih hidrotehničnih objektih oz. na vodomernih postajah.

Razvoj prognostičnih orodij je povezan z uporabo GIS okolja. Kakor se pri sedanjih zahtevnejših hidravličnih analizah uveljavlja metoda dela s povezavo hidravličnih modelov in GIS orodja, nam daje v primeru natančnih vhodnih podatkov, možnost boljše celovite prostorske analize (Gosar s sodelavci 2006, 125). Pri klasičnih hidravličnih modelih poteka opis geometrije z vnosom na terenu izmerjenih profilov, ki so navadno izmerjeni na velikih medsebojnih razdaljah, hkrati pa ne opisujejo poplavnih območij. To težavo bomo v prihodnosti lahko učinkovito reševali z uporabo GIS orodja v procesu združevanja geometrije rečnega korita in natančnih podatkov topografije terena (digitalni model terena DMT). V primeru takšne detajlne topografije, bo natančnost simulacije postala odvisna predvsem od natančnosti meteorološke prognoze, monitoringa mreže avtomatskih postaj in kvalitetno postavljenih in umerjenih hidroloških oz. hidravličnih modelov.

Prognostični sistem reki Muri je izgrajen s programsko opremo *flood watch*, ki vsebuje avtomatski kontrolni sistem in združuje vse predhodno opisane naloge upravljanja s podatki, vodenja prognostičnih modelov in predstavitev rezultatov. Sistem je popolnoma integriran v grafično okolje programskega paketa ESRI ArcGIS 9.x, kjer kot svojevrstna razširitev izrablja najnovejše GIS tehnologije s hitrimi metodami prikaza in obdelave geografsko vpetih podatkov.

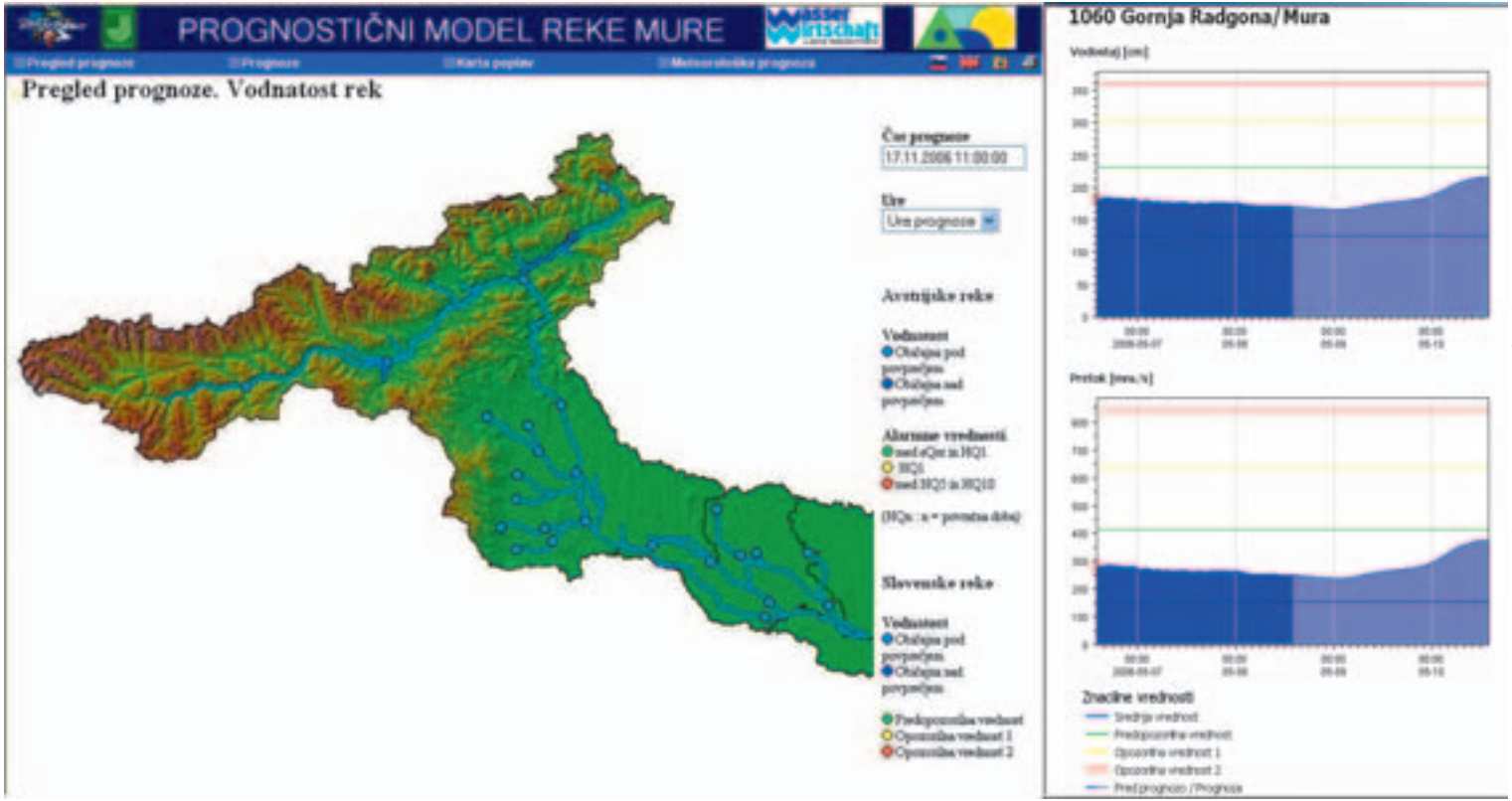
6 Predstavitev podatkov in izračunov prognostičnega sistema Mura

Interna spletna stran prognostičnega sistema reke Mure prikazuje rečno mrežo z vodomernimi postajami, ter legendo z opozorilnimi vrednostmi. Prikazana rečna mreža se obarva glede na prognozirano višino oz. pretok in s tem povezano alarmno vrednostjo. S takšnim dinamičnim prikazom so ponazorjene razmere na celotnem porečju. Barva odsekov rečne mreže in točkovno označenih vodomernih postaj se spreminja glede na preseganje določenih opozorilnih vrednosti. Posebej je treba poudariti, da so predstavljeni urni rezultati in njihova objava posledica avtomatskega delovanja. Poleg dinamične osnovne rečne mreže, si lahko ogledamo animacijo meteoroloških napovedi ter vodostajev in pretokov. Za posamezne vodomerne postaje, si prognozo vodostajev ali pretokov lahko ogledamo v grafični ali tabelarični obliki. Kljub temu se pri delovanju sistema lahko pojavijo napake, zato se jih poskuša preprečevati z rednim spremljanjem in vzdrževanjem sistema.

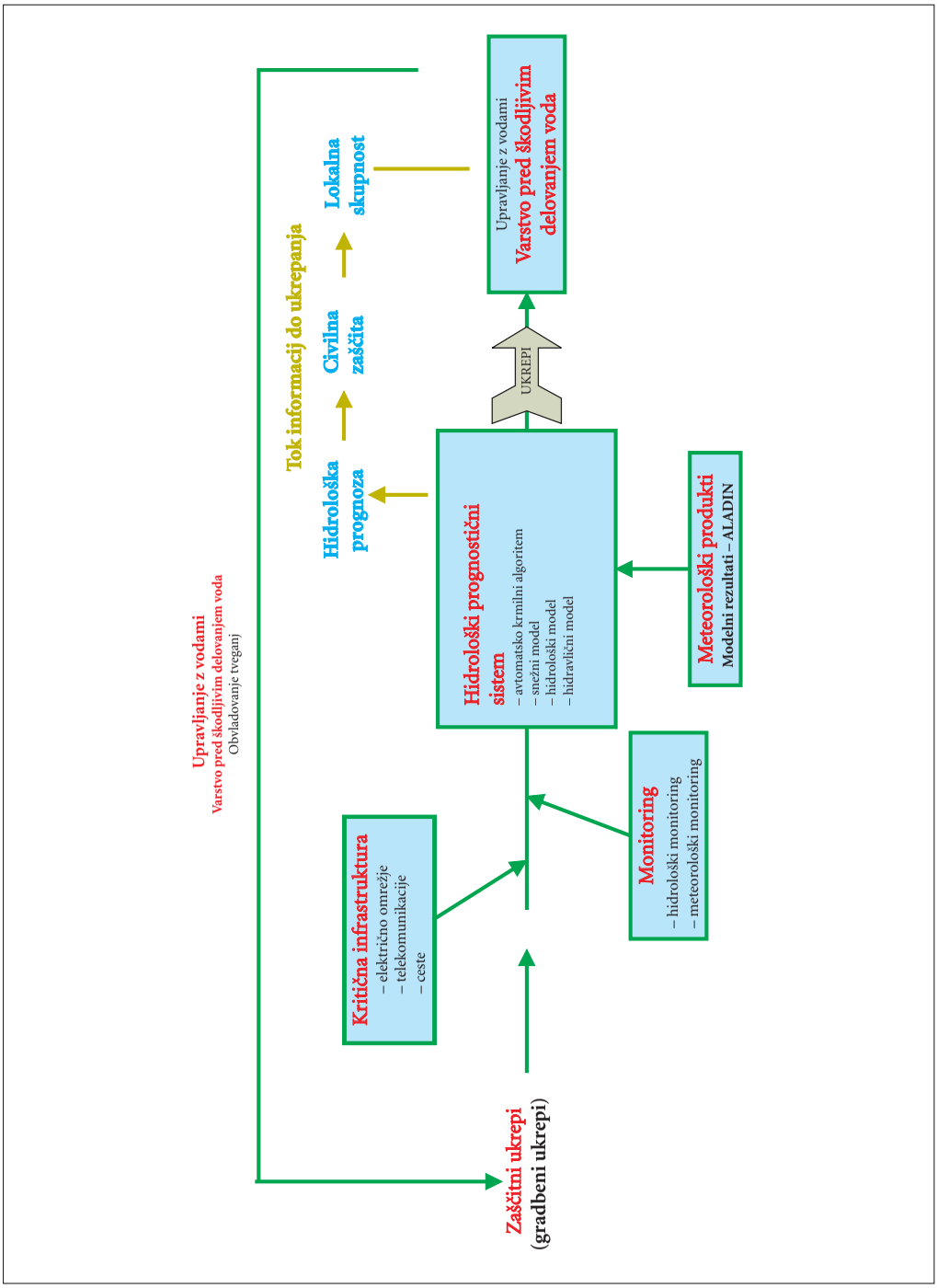
7 Ranljivost prognostično opozorilnih sistemov

Če dosežemo optimalne pogoje za tehnično delovanje prognostičnega sistema, je treba opredeliti in sestaviti celotno infrastrukturo negradbenih ukrepov za zaščito pred škodljivim delovanjem voda. Ob ekstremnih razmerah so vsekakor lahko ogrožena življenja, objekti, infrastruktura, kmetijske zemljišča. Za delovanje sistema je pomembnejše vprašanje možnost poškodb infrastrukture (telekomunikacije, električno omrežje, ceste), ki vplivajo na delovanje prognostičnega sistema (slika 7).

Ko omenjamo poškodbe kritične infrastrukture se je treba dobro zavedati ranljivosti prognostičnih sistemov. V kolikor pride do izpada prevelikega števila podatkov iz monitoring (opazovalne) mreže (zaradi poškodb na merilni opremi, komunikacijah, prekinitve električne oskrbe, uničenja same lokacije sistema) pravzaprav ostanemo brez podlag za delovanje. Ob takšnem zavedanju je kljub večji natančnosti, zanesljivosti, kakovosti izgrajenih sistemov, manjših stroških vzdrževanja, potrebno skrbeti za klasične oblike spremljanja, opazovanja in komunikacije. Klasično obliko spremljanja zato ne



Slika 6: Status rečne mreže in primer grafa vodostaja in pretoka na vodomerni postaja Mura – Gornja Radgona.



Slika 7: Odvisnost prognostičnega sistema od podpornih sistemov.

smemo obravnavati kot nepomembno, saj le s spremljanjem dogodkov preko prognostičnega sistema ni možno zagotoviti in posredovati tudi vsebinsko najustreznejše informacije.

8 Sklep

Hidrološki prognostični opozorilni sistemi je pomemben sestavni del negradbenih protipoplavnih ukrepov in tovori učinkovito ogrodje modernih opozorilno zaščitnih sistemov. V povezavi s prostorskimi podatki mu je dodana pomembna komponenta umeščanja prostorsko lociranih informacij in predstav v razumevanju vodnih pojavov tako za strokovno in tudi širšo javnost. Kljub vedno večji vlogi takšnih sistemov, je za kvalitetno napoved nujno ustrezno vzdrževanje in širjenje vseh potrebnih podsistemov. Vsi podatki (meteorološke napovedi, podatki iz monitoring mrež …) so umeščeni v prostor in vseskozi zagotavljajo geolociranje osnovnih podatkov in rezultatov prognoze. Glede na predvidene presežne mejne vrednosti se deli rečne mreže različno obarvajo in nam podajo osnovno informacijo o izpostavljenih območjih.

S sedanjo rešitvijo izgrajenega prognostičnega sistema je omogočeno zbiranje podatkov in izdelava prognostičnih simulacij na mednarodnem nivoju, ki jih lahko dodatno, glede na potrebe, obdelamo v nacionalnih oz. deželnih prognostičnih službah. Oblika informacije, ki zagotavlja pregled nad razvojem dogodkov na povodju v spletnem prostorskem prikazu, omogoča predvsem v Sloveniji kar nekaj (*lead time*) opozorilnega časa za pripravo ustreznega odziva na predvideno poplavno nevarnost. V kombinaciji z obstoječimi gradbenimi ukrepi (nasipi) je tako zagotovljena povečana poplavna varnost in prostorski pregled nad stanjem v porečju.

V nadaljnjem delu bo treba prognostični istem nadgraditi z izboljšano mrežo opazovalnih postaj (meteoroloških in hidroloških), vpeljati zgoščeno mrežo pogostejših meteoroloških napovedi modela Aladin-SI, uporaba 2D numeričnih modelov za izračun gladin (kar posledično zahteva uporabo natančnejših podatkov o geometriji terena, npr. LIDAR) in prikaz gradinskih stanj, kot poligoni v trirasežnostnem prostoru.

9 Viri in literatura

DHI – Water & Environment 2005: MIKE 11 – NAM and HD – Reference and User Guide. September 2005, 514.

Frantar, P., Hrvatin, M. 2005. Pretočni režimi v Sloveniji med letoma 1971 in 2000. Geografski vestnik 77-2, 2005, 115–127. Ljubljana.

Gosar, L., Rak, G., Steinman, F. 2006: Analiza hidravličnih lastnosti vodotokov z uporabo GIS orodja. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2005–2006. Ljubljana.

Hrvatin, M. 1998: Pretočni režimi v Sloveniji. Geografski zbornik 38. Ljubljana.

Kolbezen, M. 1998: Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije. Ljubljana.

Ruch, C., Jørgensen, G., Polajnar, Sušnik, M., Hornich, R., Schatzl, R., Pogačnik N. 2006: Trans-boundary forecasting system on Mur river 23. Conference of the Danubian countries on the hydrological forecasting and hydrological basis of water management, 28.–31, August 2006, Belgrade (publikacija na zgoščenki ISBN 86-80851-07-8).

Srebrnič, T., Mikoš, M. 2005: Analiza sezonskosti padavin in pretokov v Sloveniji. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2005 – Strokovno srečanje. Ljubljana, medmrežje: www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati.htm (25. 2. 2008).

URSZR – Uprava RS za zaščito in reševanje. Poplava, medmrežje: www.sos112.si/slo/page.php?src=og12.htm (25. 2. 2008).

VODNA BILANCA, GIS IN ONTOLOGIJA

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

UDK: 556.512:659.2:004(497.4)
COBISS: 1.17

IZVLEČEK
Vodna bilanca, GIS in ontologija
Vodnobilančna analiza na območju Slovenije za obdobje 1971–2000 je bila izvedena s pomočjo geoinformacijskih tehnologij. Analiza je bila izvedena s sodelovanjem različnih strokovnjakov ob uporabi ustreznih hidroloških metod. Z namenom izboljšanja pomenske medopravilnosti in možnega lažjega bodočega prenosa znanja smo v članku prikazali ontologijo analize vodne bilance, ki temelji na konceptu vodnega kroga in na konceptu odtočnih prostorskih povezav. Uporaba ontologije v geoinformacijskem procesu namreč omogoča metodološko skladnost, ponovno uporabo znanja in združevanje konceptov.

KLJUČNE BESEDE
vodna bilanca, geografski informacijski sistem, ontologija, semantika, medopravilnost, vodni krog, hidrologija

ABSTRACT
Water balance, GIS and ontology
Water balance analysis in Slovenia for the period 1971–2000 was implemented with the use of geoinformational technologies. Analysis was conducted with the use of proper hydrological methods supported by various experts. Ontology of water balance analysis was created in the article with the aim of better interoperability and the aim of easier future knowledge transfer. The water balance analysis has basis in the water cycle concept and in the discharge spatial connections concept. Use of ontologies in geoinformational process allows the methodological harmonization, the knowledge sharing and the combination of concepts.

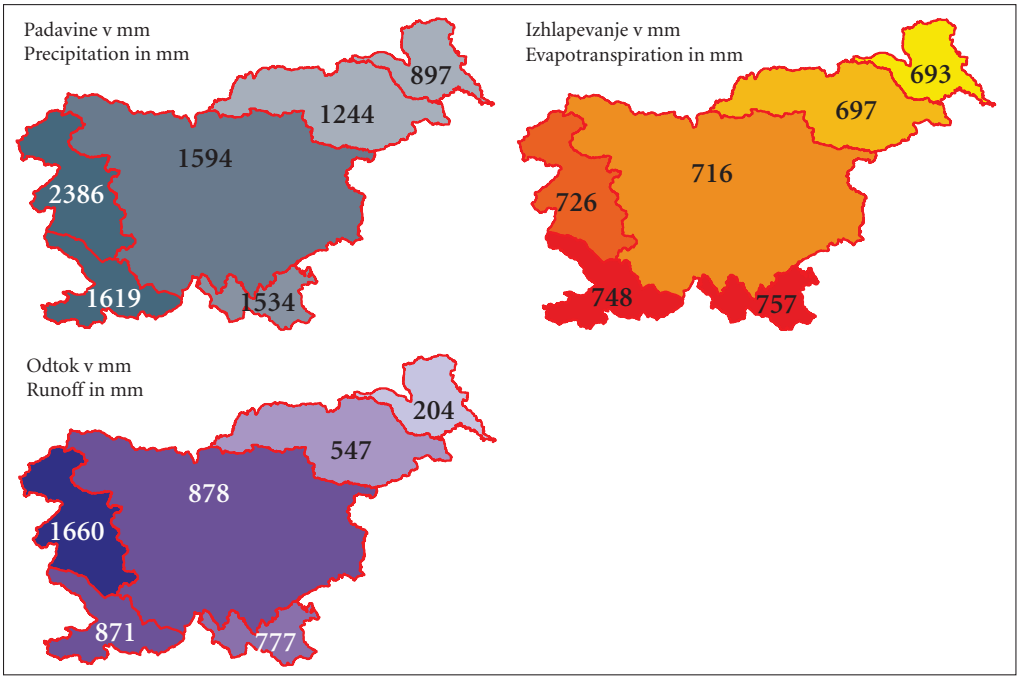
KEY WORDS
water balance, geographical information system, ontology, semantics, interoperability, water cycle, hydrology

1 Uvod

Hidrološka definicija vodne bilance je, da je to razdelitev vodnega kroga na določenem območju na njegove sestavne člene. V preteklosti je bilo računanje vodne bilance »ročno« delo, danes pa z uporabo geoinformacijskih tehnologij lahko večino dela opravimo z računalniki. Za opravljanje tematske analize, torej vodnobilančne analize z uporabo geoinformacijskih tehnologij, pa moramo poznati hidrološko izrazje in metodologijo. Pri analiziranju bilance Slovenije za obdobje 1971–2000 smo strokovna metodološka znanja implementirali z dejansko uporabo in strokovnim delom z GIS orodji. Konkretni končni rezultat bilančne analize so rasterske karte padavin, izhlapevanja in odtokov, na osnovi katerih lahko pridobimo informacije za osnovne vodnobilančne elemente za katerikoli točke ali območja v Sloveniji (slika 1).

Vodnobilančno analizo smo torej izvedli strokovnjaki s hidrološkega področja, ustrezen »prenos« rezultatov analize in metodologije zunaj kroga avtorjev pa ostaja še vedno na nivoju opisa in poročil. Opisovanje metode v člankih in poročilih je v veliko pomoč pri njeni »ponovni uporabi«, vseeno pa mora morebitni novi uporabnik metode vložiti ogromno truda za seznanitev z njo. Še vedno se namreč pojavljajo težave z medopravilnostjo, tako orodij kot metodologij.

Danes medopravilnost med formati (npr. Esri, Mapinfo, Microstation idr.) postaja manjši problem, saj jo že skušajo reševati razni standardi in priporočila (Siki 1999, 1; Lillethun 2002). Veča pa se problem prenosa znanja in metodologije novim uporabnikom in zainteresiranim. Zlasti velik pomen se mora pri tem posvetiti »predstavi znanja«. Vedno bolj so prisotne ravno metodološke težave uporabe določenih modelov in analiz v GIS orodjih zaradi neustreznega poznavanja tematike. Računalniško metodo, ki jo uporabljamo v določeni geoinformacijski analizi, še vedno najbolj poznajo le avtorji metode sami, zato lahko prihaja do napačnih interpretacij rezultatov ali napačne uporabe metode.



Slika 1: Primer rezultatov analize vodne bilance 1971–2000 z elementi vodne bilance (padavine, izhlapevanje in odtok) na ozemlju Slovenije po porečjih v mm.

Uspešna medopravilnost pri uporabi geoinformacijske tehnologije narekuje pri »ponovni uporabi« metodologije in prenosa znanja uporabo semantike in ontološke strukture (Fonseca s sodelavci 2002, 2; Fonseca 2001b, 31).

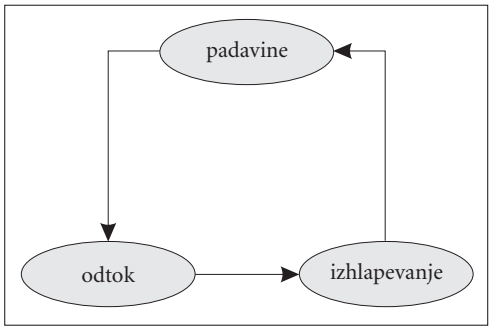
Namen prispevka je predstavitev ontologije koncepta analize vodne bilance, ki temelji na konceptu vodnega kroga in na konceptu odtočnih prostorskih povezav in povezava teh dveh ontologij.

2 Pojmi in metodologija

Voda na Zemlji je v stalnem gibanju, hkrati pa spreminja fizikalna stanja – od tekočega in plinastega do trdnega ter obratno. Neprestano premikanje vode z vsemi stanji opisuje vodni krog, ki deluje na Zemlji že milijarde let. Pri vodnem kroženju na Zemlji ločimo mali in veliki vodni krog. Kroženje vode med oceani in atmosfero predstavlja glede na količine glavnino vodnega kroga. Imenujemo ga tudi mali vodni krog (slika 2). Veliki vodni krog poteka tudi na kopnem in je bolj razvejan in raznovrsten. Seveda se oba krogotoka prepletata (Bat s sodelavci 2008, 9). V vsaki bilanci je treba pri površinskem odtoku upoštevati tudi prostorske povezave med območji analize vodne bilance (med hidrometričnimi zaledji). Proces analize vodne bilance temelji na malem vodnem krogu in prostorskimi odtočnimi povezavami med hidrometričnimi zaledji. Vodna bilanca ocenjuje količine vode na določenem območju v določenem časovnem obdobju. Upoštevati mora torej vse dotoke in odtoke (ter spremembe zalog, če je možno); inpute in outpute (slika 3). Za preprost sistem, kakršen je npr. posoda ali vodni zbiralnik z merljivim dotokom in odtokom, je bilanca preprosta in lahko razumljiva. Shematično je preprosta tudi bilanca malega vodnega kroga, pri katerem so glavni »dotok« padavine, glavni »odtok« pa je izhlapevanje (Ritter 2006). Veliko bolj zapletena je vodna bilanca izbranega območja, kot je npr. država, pokrajina itd. Tovrstna bilanca je vedno poenostavljen prikaz dejanskih razmer, smiselna pa, če zajame vse bistvene bilančne elemente in pravilno poda razmerja med njimi (Bat s sodelavci 2008, 9).

V geografskem preučevanju okolja, katerega del je tudi vodna bilanca, se vedno posveča velik pomen definicijam pojmov in metodologijam ter seveda medsebojnim povezavam in soodvisnosti različnih geografskih dejavnikov (Vrišer 1992). Enako velja tudi za geografske informacijske sisteme, ki izhajajo iz geografije. GIS-i so po eni od definicij posebni informacijski sistemi za obvladovanje podatkov o prostorsko referenciranih objektih na Zemlji (Stoimenov s sodelavci 2002, 1). Posebno pozornost je torej treba posvetiti geografskim objektom.

Medopravilnost GIS-a zahteva visoko semantično raven, za dosego le-te pa je treba izdelati ontologijo, ki je potrebna za določeno analizo (o tem se strinjajo v člankih: Smith s sodelavci 2005; Fonseca 2001a; Čeh 2002; Levinsohn 2005, 2; Lemmens 2003, 2). Ontološka predstavitev omogoča lažji prenos znanja. Povedano z drugimi besedami: poznati je treba vsebino, saj se z uporabo informacijske tehnologije povečuje strokovna zahtevnost do uporabnika le-te. Z ontološko predstavo GIS analize in koncepta procesa pa omogočimo lažji prenos znanja tudi »nevednim« agentom ob uporabi ontologije (Čeh 2003, 62).



Slika 2: Shema malega vodnega kroga.

2.1 Semantika

Semantika je študija pomena izrazov uporabljenega jezika – razmerje med besedami in stvarnostijo. Semantika se nananša na pomen izrazov v jeziku ali logiki v nasprotju s sintakso, ki obravanava le obliko izražanja v jeziku.

Semantika je pojem, ki se nanaša na pomen, mišljenje, stališče o določeni realni stvari oziroma o stvarnosti, ki je izraženo z določenim jezikom (besediščem) ali drugim sistemov znakov (medmrežje 2). Preučuje povezanost znakov (izrazov, besed, terminov) in objektov stvarnega sveta (Čeh 2003, 132). V geoinformacijski terminologiji se semantika nanaša na osnovni pomen simbolov s katerimi s predstavljene enitite, objekti stvarnega sveta. Simboli so del kognitivnega modela, ki predstavljajo stvarne objekte oziroma povedano bolj natančno, ki predstavlja objekte geografskega okolja. Za zadovoljivo in strokovno analizo je torej potreben »dogovor« o pomenu določenega simbola, o njegovi vlogi in poziciji v geografskem okolju (Fonseca 2001b, 32; Fonseca 2001a, 3), kar dosežemo s semantično skladnostjo.

Semantična skladnost pomeni pomensko ujemanje predstavitev – simbolov (znakov, terminov) istih pojavov stvarnega sveta (Čeh 2002, 273; Fonseca 2001a, 18) in je ključnega pomena za geografsko analizo s podporo geoinformacijske tehnologije. Ravno semantična heterogenost danes povzroča resne probleme (Stoimenov s sodelavci 2002, 4). Semantična skladnost pa omogoča povezovanje tako geografskih podatkov po geografskih kot vsebinskih lastnostih (prostor, tematika, podrobnost in čas). Prav tako je pomembna skladnost za povezovanje med samimi GIS orodji, saj omogoča (boljšo) souporabo podatkov v različnih sistemih ter izmenjavo podatkov. V praksi je v GIS orodjih možna souporaba večine podatkov, tudi če so semantično neurejeni, vendar je potem rezultat analize zelo vprašljiv. Semantično heterogenost lahko odpravimo s pomočjo ontologije (Stoimenovs sodelavci 2002, 6; Fonseca s sodelavci 2002, 3; Fonseca 2001b, 1) in dobrih opredelitev.

2.2 Ontologija

Ontologíja je filozofski nauk o »bivajočem kot bivajočem« (Aristotel) oziroma o temeljih in najsplošnejših lastnostih stvarnosti (medmrežje 1; Smith s sodelavci 2005, 1). Obravnava osnovo, vzroke in najsplošnejše lastnosti stvarnosti (medmrežje 3).

Po Gruberju je ontologija točna specifikacija koncepta (Fonseca s sodelavci 2002, 3; tudi v Fonseca 2000, 1; Čeh 2002, 268; Fonseca s sodelavci 2000, 2; Smith s sodelavci 2001, 593). Ontologija je pomensko ogrodje določene realnosti opredeljene z določenim besediščem s privzetimi opredelitvami o pomenu besed besedišča (Fonseca s sodelavci 2002, 3; Stoimenov s sodelavci 2002, 9). Ontologija je opis konceptov in razmerij med koncepti, ki lahko obstajajo za agente oz. skupnost agentov (Čeh 2002, 268).

Ontologijo si lahko predstavljamo kot skupek semantik, struktur, funkcij, metod in modelov, ki omogočajo predstavo določenega dela realnosti (Schentz s sodelavci 2003, 1; Smith s sodelavci 2001, 5).

Ontologija in njeno ogrodje omogoča hierarhično opredelitev tako prostorskih kot tudi neprostorskih objektov, s čimer rešujemo integracijo geografskih informacij (Stoimenov s sodelavci 2002, 9; Fonseca 2001a; Fonseca 2001b, 1 in 37).

Semantika torej predstavlja pomene objektov/entitet, ki sestavljajo ontologije geografskega sveta (Fonseca s sodelavci 2002, 2), sama ontologija pa je zasnovana za boljše razumevanje strukture geografskega sveta (Smith s sodelavci 1998, 1).

2.3 Geografski objekti

Uporaba geoinformacijskih tehnologij je uvedla tudi »nove pojme«. Pri GIS-ih v geografskem svetu tako govorimo o geografskih objektih (na primer jezero, reka …). Pri poznavanju pomena simbolov za geografske objekte se je treba zavedati, da imajo drugačne značilnosti kot ostali objekti. To so pro-

storski objekti na površju ali blizu površja Zemlje (Smith s sodelavci 2005, 4; Mark s sodelavci 1999, 4). Geografski objekti namreč niso samo locirani v prostor, temveč so resnično močno povezani s prostorom, celo tako, da veliko strukturnih lastnosti geografskega objekta izhaja iz njegovega prostora (Smith s sodelavci 2005, 3; Smith s sodelavci 1998, 2; Goodchild 2005, 5), posredno »njihove lastnosti« opisuje že osnovna definicija geografije (Vrišer 1992).

Pomen simbolov za geografske objekte je zato velikokrat odvisen od velikosti geografskih objektov, velika pa je tudi pomenska odvisnost simbolov za geografske objekte, ki nastopi zaradi individualnih in kulturnih razlik (Smith s sodelavci 2005, 4). Določitev entitete v geografskem prostoru zahteva neodvisno opredelitev – ne glede na velikost in merilo. Potrebno je širše soglasje o pomenu različnih simbolov za objekte geografskega okolja (Fonseca 2001a, 3). V primeru prispevka je tak geografski objekt hidrometrično zaledje.

2.4 Metodologija

Struktura koncepta analize vodne bilance v Sloveniji (v GIS okolju) je na pogled dokaj enostavna zadeva. Zahteva povezanost različnih dveh konceptov: vodnega kroga in koncepta odtočnih prostorskih povezav. Razumevanje obeh je potrebno za uspešno izdelano vodno bilanco. Oba koncepta združimo v analizi vodne bilance.

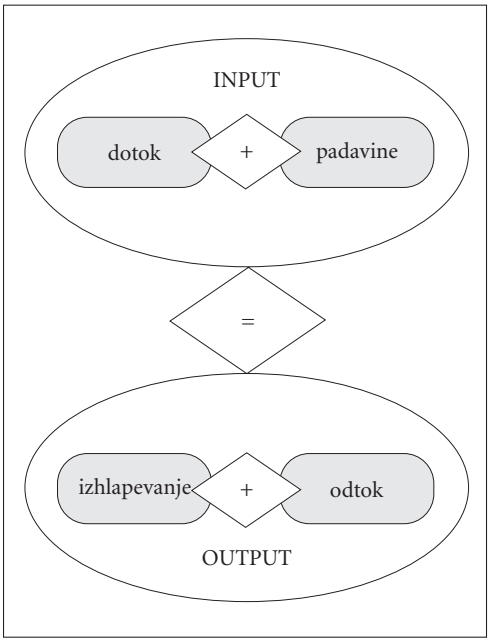
S pomočjo ontologije lahko opredelimo glavne entitete, ki nastopajo v stvarnem okolju in njihov hierarhični položaj. Simboli v tem primeru so geografski objekti, katerih značilnosti so omenjene v prejšnjem poglavju. Geografski objekti, v našem primeru obravnave porečja in njihovi elementi – hidrometrična zaledja. Z uporabo ontologije lahko opredelimo glavne vsebinske povezave med njimi, povezavo na vodni krog in povezavo do procesa analize vodne bilance. Metodologija izdelave ontologije analize vodne bilance je preprosta. Zahteva opredelitev glavnih simbolov in procesov obeh »podkonceptov« ter povezav med njima.

3 Ontologija

Postavitev ontološke sheme zahteva pregled nad glavnimi koncepti procesa. V poglavju navajamo efinicije za glavne elemente ontologije vodnobilančne analize in njihove simbole.

Pri vodnobilančni analizi so osnovni elementi vodne bilance na določenem območju inputi (padavine, dotoki, dS) in outputi (odtoki, izhlapevanje, dS) vode z območja v določenem časovnem intervalu. Po sistemski teoriji so **inputi** vsi vnosi v sistem, **outputi** pa vsi iznosi iz sistema. Inputi in outputi se pojavljajo v odprtih sistemih. V primeru procesa analize vodne bilance določenega območja so torej inputi lahko površinski dotok, padavine, antropogeni transport vode v območje in razni drugi, outputi pa površinski odtok, izhlapevanje, razni antropogeni odvzemi vode in transporti iz območja idr. Pri konceptu analize vodne bilance njeni simboli izhajajo iz koncepta vodnega kroga in njegovih delov (simbolov) ter povezav na koncept vodnega odtoka v prostoru.

Padavine so po definiciji atmosferska voda, ki po kondenzaciji in sublimaciji izhaja iz zraka in zaradi težnosti pada proti tlem oz. pade na tla (DIN 1996 po Schöniger s sodelavci 2003). **Izhlapevanje** oziroma evapotranspiracija je prehajanje vode v obliki vodne pare z vodne površine ali zemeljskega površja in skozi listne reže rastlin v ozračje (Allen 1998). **Odtok** je pojem, ki opisuje predstavlja premikanje določenega dela padavinske vode do kanaliziranega vodotoka pretok vode v njem (Davie 2004; Van Abs s sodelavci 2000). Višek padavin, ki ne izhlapi oz. se ga ne porabi za transpiracijo, odteče, je odtok. Kadar je ta presežek dovolj velik, se odtok zbere v vodotokih, ki predstavljajo večino odtoka z določenega vodozbirnega zaledja. Na mestih, kjer se torej večina odtoka zbere, lahko odtok merimo kot **pretok**. **Zaloge vode** (ali spremembe zalog) predstavljajo količino vodo, ki je časovno zadržana v »prostoru« med padavinami in odtokom oz. izhlapevanjem. Sproščanje ali zadrževanje teh količin je zelo različno tako količinsko kot časovno. Pri analizah dolgoročnih obdobnih bilanc lahko predpostavljamo, da



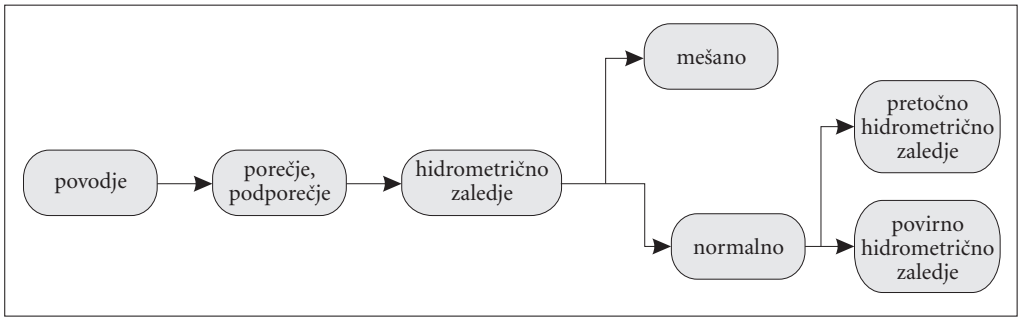
Slika 3: Osnovna shema vodnobilančnega izračuna uporabljenega v bilanci 1971–2000 za hidrometrično zaledje

so vplivi zalog na vodni krog minimalni (Kolbezen s sodelavci 1998; Bat s sodelavci 2008) in jih lahko zanemarimo.

V prostorskem smislu je osnovni gradnik vodne bilance **hidrometrično zaledje**. Je pravi goegrafski objekt v ontologiji koncepta vodne bilance. To je območje (poligon) omejeno z razvodnicami bilančnih profilov, ki so v večini kar razvodnice uporabljenih vodomernih postaj. Povirna hidrometrična zaledja razen padavin nimajo dotokov, presežek padavin, ki ne izhlapi, pa iz njih odteče in ga kot pretok (Q) izmerimo na bilančnem profilu na ustrezni vodomerni postaji. Pretočna hidrometrična zaledja prejemajo vodo s padavinami in dotokom iz gorvodnega hidrometričnega zaledja. Dotok (Qv) in odtok (Qi) merimo kot pretok na gorvodnih in dolvodnih vodomernih postajah. Razlika med njima je neto odtok hidrometričnega zaledja (Qi – Qv = Qn). Pri povirnih hidrometričnih zaledjih je pretok, ki ga izmerimo ne merskem profilu že neto odtok (Q = Qn) (Bat s sodelavci 2008; Bat s sodelavci 2006).

Praviloma je hidrometrično zaledje del porečja, ki je del povodja. Taka so normalna hidrometrična zaledja. Lahko pa je hidrometrično zaledje tudi del dveh porečij ali celo povodij; zlasti na primeru krasa. Taka so ti. mešana hidrometrična zaledja, ki pripadajo (zaradi »nedoločljivosti« kraške razvodnice ali drugih hidroloških razlogov) dvema vodotokoma in s tem porečjema. Hidrometrična zaledja so medsebojno povezana, pri čemer so povezave opredeljene z naravnim tokom »vodotokov« s t. i. konceptom odtočnih prostorskih povezav.

Porečje je območje, ki zbira padavinsko vodo v določen vodotok. Mikoš ga opredeljuje kot prispevno območje, ki ima skupen iztok lastnih površinskih voda (Mikoš s sodelavci 2002, 81). Npr. porečje Save je vse območje, iz katerega se padavinska voda steka v reko Savo in njene pritoke. Enako velja za npr. porečje Sore, ki pa je v primeru Save njeno podporečje. Porečja se lahko delijo na več podporečij, pa tudi podporečja na še manjša podporečja. Velikost podporečja in njegov »rang« sta v tem primeru odvisna zlasti od namena in možnosti analiz. Izraz **povirje** opredeljujemo kot območje, ki zajema del porečja v okolici izvira vodotoka oz. vodotoke pri izviru reke (Mikoš s sodelavci 2002, 126). **Povodje** je v hidrogeografskih krogih opredeljeno kot vse prispevno območje določenega morja, npr. Jadranskega morja. Zajema vse prispevno območje v določeno morje tekočih vodotokov. **Morja** so sklenjena

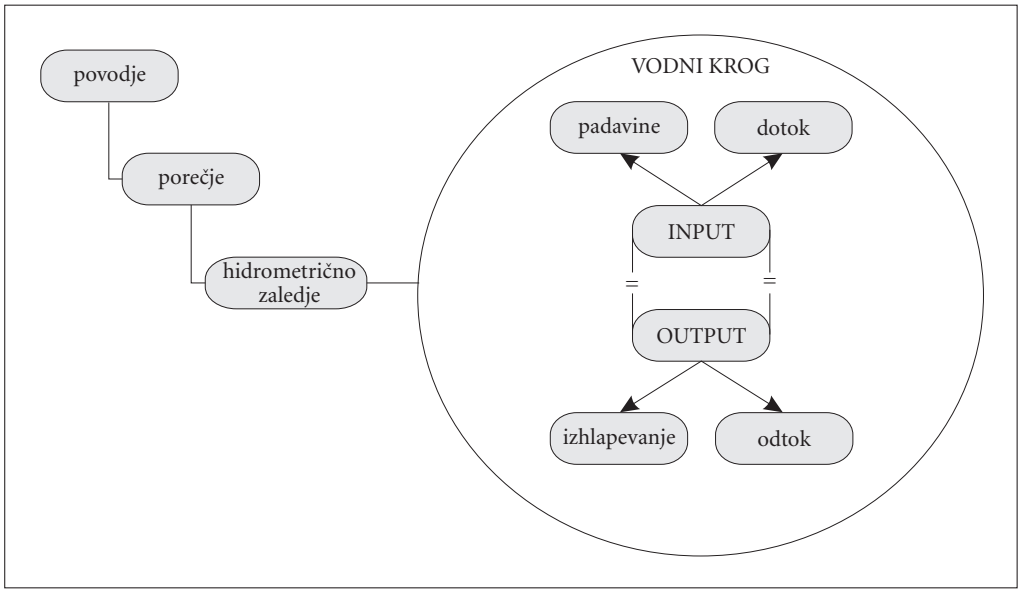


Slika 4: Hierarhična struktura simbolov v konceptu odtočnih prostorskih povezav.

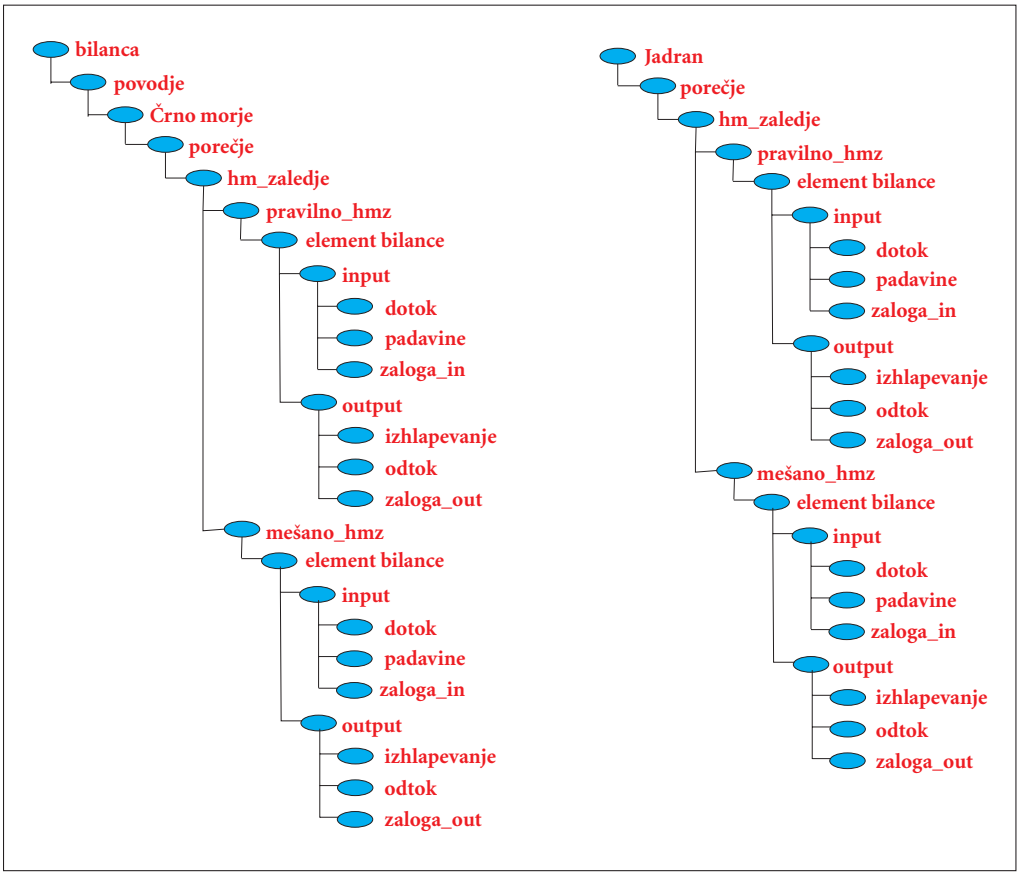
območja slane vode, ki pokrivajo večji del površja zemlje (Medmrežje 4) in so lahko podrobneje razmejena po geografskih lokacijah. Jadransko morje in Črno morje sta tako oba dela Sredozemskega morja. Jadransko obsega telo slane vode med Apeninskim in Balkanskim polotokom, Črno morje pa je telo slane vode vzhodno od Dardanel.

Kot narekuje sistemska teorija, vodnobilančna formula za daljše obdobje 1971–2000 temelji na enakosti inputov in outputov vode na določenem območju. Inputi, torej padavine in dotoki v hidrometrično zaledje, morajo biti enaki outputom, torej odtokom in izhlapevanju z določenega hidrometričnega zaledja. Tu sta v hidrometričnem zaledju torej združena koncept vodnega kroga (slika 2) s konceptom odtočnih prostorskih povezav (slika 4) v koncept analize vodne bilance (slika 3).

Na sliki 4 je prikazana struktura koncepta hidroloških prostorskih simbolov analize bilance do nivoja hidrometričnega zaledja. Puščice tu pomenijo nadaljnjo delitev simbolov v konceptualni shemi prostora bilančne analize. Povodje vsebuje porečja, ki se delijo na podporečja in hidrometrična zaledja, ki so nadalje lahko mešana ali pa normalna, ki pa so lahko pretočna ali povirna (slika 4). Ontologija vodne



Slika 5: Ontologija koncepta analize vodne bilance, povezana ontologija koncepta vodnega kroga in prostorskega koncepta, ki skupaj tvorita ontologijo koncepta analize vodne bilance.



Slika 6: Struktura ontologije vodne bilance 1971–2000 izdelana v programu OwlEditor.

bilance zahteva združitev ontologije koncepta hidroloških prostorskih simbolov (slika 4) in ontologije koncepta vodnega kroga (slika 2). Ustrezno izdelane ontologije na osnovnih nivojih lahko vodijo k združevanju ontologij, kot v našem primeru. Ontologija koncepta analize vodne bilance (slika 5) kaže, da v vsakem hidrometričnem zaledju poteka vodni krog, v katerem morajo biti inputi enaki outputom. Hidrometrična zaledja lahko hierarhično združujemo v porečja in nadaljnje v povodja, v katerih pa prav tako teče vodni krog, le večjega obsega (slika 6).

4 Sklep

Ontološka struktura procesov, analiz, odnosov v času geoinformacijskih tehnologij pridobiva na pomenu. Proces analize v GIS okolju je s pomočjo ontologije predstavljen na način, ki ga v našem primeru še nismo uporabili pri programiranju. V prihodnje bodo lahko te skupne ontologije in koncepti pomenili olajšanje prenosa znanja med različnimi GIS uporabniki. V prispevku smo pojasnili vse glavne simbole v ontologiji analize vodne bilance. Tako je tudi sam proces analize vodne bilance 1971–2000 z ontologijo predstavljen na enostaven in pregleden način, ontologija pa omogoča v nadaljnje lažji prenos znanja raznim agentom.

V bodoče bi bilo potrebno za izboljšanje medopravilnosti koncepta analize vodne bilance izboljšati semantično skladnost, pregledati semantično podobnost s pregledom pomenov simbolov (terminov) v različnih hidroloških krogih.

5 Viri in literatura

Bat, M., Dolinar, M., Frantar, P. 2006: Water balance in Slovenia 1971–2000. Conference on Water observation and information system for decision support, 23–26 May 2006 Ohrid, Republic of Macedonia. Skopje.

Bat, M., Frantar, P. 2008: Vodna Bilanca – 2. poglavje. Vodna bilanca Slovenije 1971–2000. Ljubljana.

Čeh, M.: 2002. Analiza geodetskih podatkovnih zbirk za potrebe kmetijstva. Doktorska disertacija, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani. Ljubljana.

Čeh, M.: 2003. Semantična integracija zbirk prostorskih podatkov. Ljubljana.

Čeh, M., Podobnikar, T., Smole, D. 2006: Semantic similarity measures within the semantic framework of the universal ontology of geographical space. Progress in spatial data handling: 12th International Symposium on Spatial Data Handling. Berlin.

Fonseca, F. 2000: Users, Ontologies and Information Sharing in Urban GIS. ASPRS Annual Conference, Washington, D. C., medmrežej: www.spatial.maine.edu/~fred/fonseca_asprs2000.pdf (31. 5. 2005).

Fonseca, F. 2001a: Ontology-driven geographic information systems. A Thesis, The University of Maine. medmrežje: www.spatial.maine.edu/%7Efred/fonseca_2001.pdf (31. 5. 2005).

Fonseca, F., 2001b: Role-Based Geographic Information Integration. Medmrežje: http://www.spatial.maine.edu/%7Efred/fonseca_geoinfo2001.pdf (31. 5. 2005).

Fonseca, F., Egenhofer, M., Davis, C., Borges, K. 2000: Ontologies and Knowledge Sharing in Urban GIS. CEUS – Computer, Environment and Urban Systems 24-3, medmrežje: http://www.spatial.maine.edu/~fred/fonseca_ceus.pdf (31. 5. 2005).

Fonseca, F., Egenhofer, M., Davis, C., Câmara, G. 2002: Semantic Granularity in Ontology-Driven Geographic Information Systems. AMAI Annals of Mathematics and Artificial Intelligence – Special Issue on Spatial and Temporal Granularity 36, 1–2, medmrežje: www.personal.psu.edu/faculty/f/u/fuf1/publications/Fonseca_AMAI_2002.pdf (10. 6. 2005).

Goodchild, M. F. 2005: Ontology of Geographic Phenomena. Medmrežje: http://www.geog.ucsb.edu/~good/275/v2kontology2.htm (10. 6. 2005).

Kolbezen, M., Pristov, J. 1998: Vodotoki in vodna bilanca Slovenije. Ljubljana.

Lemmens, R. 2003: Ontology based chaining of distributed Geographic Information Systems. Medmrežje: www.itc.nl/library/Papers_2003/non_peer_conf/lemmens_poster.pdf (31. 5. 2005).

Levinsohn, A. 2005: Geospatial Interoperability: The Holy Grail of GIS. Geoworld, Spatial Data Insights, Adams Business Media, medmrežje: www.geoplace.com/gw/2000/1000/1000data.asp (31. 5. 2005).

Lillethun, A. 2002. Environmental thematic user needs – Position paper, version 2, Inspire, Infrastructure for spatial information in Europe. European Environmental Angency, Draft 30. 9. 2002.

Mark, D., Smith, B., Tversky, B. 1999: Ontology and Geographic Objects: An Empirical Study of Cognitive Categorization, medmrežje: http://ontology.buffalo.edu/smith//articles/truthandreference.pdf (10. 6. 2005).

Medmrežje 1: http://en.wikipedia.org/wiki/Ontology (29. 2. 2008).

Medmrežje 2: http://en.wikipedia.org/wiki/Semantic (29. 2. 2008).

Medmrežje 3: http://www.abecednik.com/o/ontologija.html (29. 2. 2008).

Medmrežje 4: http://www.thefreedictionary.com/sea (11. 4. 2008).

Mikoš, M., Kranjc, A., Matičič, B., Müller, J., Rakovec, J., Roš, M., Brilly, M. 2002. Hidrološko izrazje. Acta Hydrotechnica 20/32. Ljubljana

Schentz, H., Mirtl, M. 2003: CEDEX – Classes for Environmental Data Exchange. Medmrežje: www.umweltbundesamt.at (7. 5. 2005).

Siki, Z. 1999: GIS data exchange problems, solutions. Periodica Polytechnica 43-1. medmrežje: www.pp.bme.hu/ci/1999_1/pdf/ci1999_1_09.pdf (31. 5. 2005).
Smith, B., Mark, D. 1998: Ontology and Geographic Kinds. Proceedings, International Symposium on Spatial Data Handling (SDH'98), Vancouver, Canada, 12–15 July, 1998, medmrežje: http://www.geog.buffalo.edu/ncgia/ontology/SDH98.html (10. 6. 2005).
Smith, B., Mark, D. 2001: Geographical categories: an ontological investigation. International Journal of Geographical Information Science 15-7, medmrežje: www.geog.buffalo.edu/ncgia/ontology/SmithMarkIJGIS2001p591_s.pdf (10. 6. 2005).
Smith, B., Mark, D., 2005: Ontology with Human Subjects Testing: An Empirical Investigation of Geographic Categories. Medmrežje: http://ontology.buffalo.edu/smith//articles/Cognitio.pdf (10. 6. 2005).
Stoimenov, L., Djordjević-Kajan, S. 2002: Framework for Semantic GIS Interoperability. Medmrežje: http://gislab.elfak.ni.ac.yu/leni/Radovi/FACTA03.pdf (31. 5. 2005).
Van Abs, D. J., Stanuikynas, T. J. 2000: Water Budget in the Raritan River Basin. A Technical Report for the Raritan Basin Watershed Management Project New Jersey Water Supply Authority, medmrežje: http://www.raritanbasin.org/Reports/WaterBudgetReport.pdf (23. 1. 2006).
Vrišer, I. 1992: Uvod v geografijo. Ljubljana.

PODATKOVNI MODEL ZA INTEGRACIJO VODNE DIREKTIVE V WISE

Dunja Vrenko, dr. Lidija Globevnik, Marko Kovačič
Inštitut za vode Republike Slovenije
dunja.vrenko@izvrs.si, lidija.globevnik@guest-arnes.si, marko@itt.si

UDK: 556.04:659.2
COBISS: 1.17

IZVLEČEK
Podatkovni model za integracijo Vodne direktive v WISE
WISE je kratica za »Water Information System for Europe« oziroma evropski informacijski sistem za vode. Cilj projekta je, da se na enem mestu združijo podatki in informacije o vodah za Evropo. Države članice EU morajo redno poročati o izvajanju evropskih direktiv. Mednje sodi tudi Vodna direktiva (WFD). Članek predstavi koncept podatkovnega modela WISE. Model relacijske baze je zgrajen tako, da omogoča hranjenje podatkov v več podatkovnih bazah, medtem ko bosta analiza in pregled vseh podatkov omogočeni preko spletnega pregledovalnika.

KLJUČNE BESEDE
podatkovni model, Vodna direktiva, informacijski sistem

ABSTRACT
Data model for integration of Water Framework Directive into WISE
WISE means »Water Information System for Europe«. The WISE project started in 2002. The main purpose of the project is integrating water data and information on EU level. EU Member States have obligation to report the implementation of EU Directives policy. One of them is also Water Framework Directive (WFD). The article presents the WISE data model concept. The relation data model makes possible data storage on different databases, while the analysis and review of data will be made possible through WISE web viewer.

KEY WORDS
data model, Water Framework Directive, information system

1 Uvod

Na evropski ravni je vzpostavljen informacijski sistem za vode – WISE (*Water Information System for Europe*). Sistem je bil vzorčno vzpostavljen marca 2007, v prihodnosti pa naj bi vseboval celovite informacije o stanju voda v Evropi, evropski vodni zakonodaji, izpolnjevanju poročevalskih obveznosti držav članic EU ter posredoval obvestila in povezave na mednarodne in nacionalne inštitucije ali informacijske platforme za vode. Na evropski ravni podatke o stanju voda zbira Evropska komisija na podlagi direktiv evropskega parlamenta in sveta, Evropska agencija za okolje (EEA) od svojih članic, Eurostat, OECD združenje. Namen sistema WISE je združiti vse na evropski ravni pridobljene informacije v enoten in pregleden sistem. Najprej bodo v celovit sistem WISE združene in prikazane informacije in podatki, ki jih Evropska komisija zbira na podlagi Vodne direktive (*Water Framework Directive* – WFD), Kopalne direktive (*Bathing Water Directive* – BWD) in podatkov, ki jih zbira Evropska agencija za okolje. To so podatki za poročanje o stanju okolja (*State of Environment Report* ali *EIONET SoE data on Water*). Nato bodo vključeni podatki, ki jih države pošiljajo Evropski komisiji kot dokaz izvajanja Nitratne direktive (*Nitrate Directive* – NiD) ter Direktive o odpadnih vodah (*Urban Waste Water Treatment Directive* – UWWTD). V naslednjih korakih se bodo vključili še podatki, vezani na Direktivo o pitni vodi (*Drinking Water Directive* – DWD), Direktive o podzemnih vodah (*Groundwater Directive* – GD), Direktive o nevarnih snoveh (*Dangerous Substances Directive* – DSD), Poplavno direktivo (*Flood Directive* – FD) in Strategijo varstva morskega okolja (*Marine Strategy* – MS).

Integracija podatkov v WISE sledi naslednjim izhodiščem (European Commission 2006):

- **WISE bo kompatibilen s sistemom INSPIRE** (angleško *Infrastructure for Spatial InfoRmation in Europe* 'Infrastruktura za evropske prostorske informacije'), zato prevzema njegove norme za prostorske informacije.
- **WISE vključuje tudi negeoreferencirane informacije za področje voda** (npr. numerični podatki, tekstualni ali administrativni podatki), ki pa bodo tako ali drugače referirani na prostorske informacije. WISE platforma bo zagotavljala medsebojno izmenjavo podatkov med državnimi sistemi in evropskim nivojem.
- **WISE je formalno sporazumno orodje za poročanje.** Olajšuje izmenjavo podatkov med državami in Evropsko komisijo. To pomeni, da so osnovana formalna pravila za poročanje in se tako izognemo vzporednemu ali dvojnemu poročanju. Kakorkoli pa je le del podatkov v WISE sporazumnih.
- **WISE je porazdeljen informacijski sistem podatkov o vodah na evropski ravni.** Velika količina podatkov je bila zbrana s strani evropskih in mednarodnih teles. Porazdelitev podatkov o vodah bo povečala učinkovitost porazdeljevanja podatkov in izboljšale kvaliteto ocen o stanju voda v Evropi. WISE bo postal z vodami povezana komponenta širšega izmenjevalnega sistema okoljskih informacij (*Shared Environmental Information System* – SEIS), ki ga razvija Evropska agencija za okolje.
- **WISE je platforma za sodelovanje.** WISE proces se gradi v sodelovanju s štirimi evropskimi telesi: *Directorate General for Environment* (DG ENV), *Joint Research Centre* (JRC), *Eurostat* (ESTAT) in *European Environment Agency* (EEA). Prav tako zagotavlja platformo za sodelovanje z državami kot glavnimi nosilci podatkov in mednarodnimi organizacijami na področju vodne politike.

2 Načela WISE

Razvoj sistema WISE temelji na številnih načelih, predvsem na (European Commission 2006):

- **Glavno načelo: »*Poročaj enkrat, uporabi večkrat – usklajena orodja za poročanje*«,** kar pomeni, da naj bi se podatki zbirali enkrat, vzdrževali naj bi se v najbolj primernem merilu in nato porazdeljevali med vsemi nivoji.
- **WISE bo integriral obvezne poročevalske obveznosti držav članic EU za področje voda, poročanje držav članic EEA o stanju vodnega okolja in druge sporazumne poročane podatke.**

- **WISE bo zgrajen kot porazdeljevalno podatkovno vozlišče.**
- **Uporabniki bodo lahko vzpostavili lastno ponudbo za povezavo svojih podatkov z WISE ali za dostop do WISE podatkov.**

WISE se razvija v povezavi z INSPIRE iniciativo kot integracija v širši kontekst porazdeljevanja prostorskih informacij za zagotovitev aplikacije s sledečimi načeli (European Commission 2006):

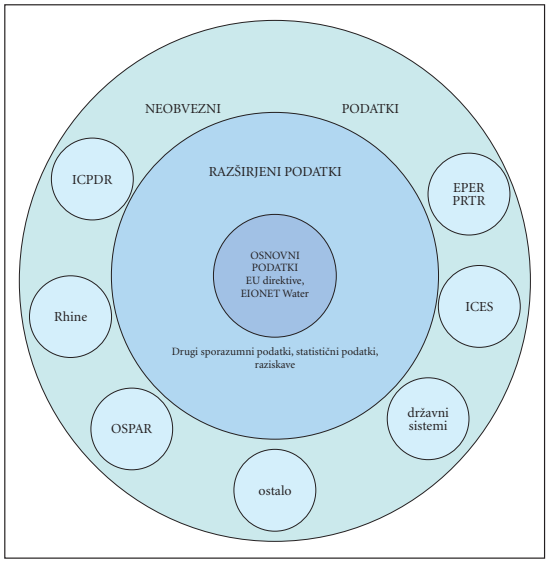
- **Porazdeljen informacijski sistem:** podatki in informacije bodo hranjeni na različnih vozliščih in porazdeljeni med vsa sodelujoča vozlišča.
- **Interoperabilni sistem:** za potrebe porazdeljevanja in izmenjave informacij bodo vsa sodelujoča vozlišča interoperabilna, podatki bodo izmenljivi, usluge pa bodo omogočale dostop in procesiranje podatkov z različnih vozlišč.
- **Načelo dopolnilnosti:** podatki bodo vzdrževani v najbolj primernem merilu in porazdeljevani med ostalimi nivoji.
- **Transparentnost (odprtost):** podatke in usluge naj bi uporabnik odkril enostavno in hitro. Uporabnik naj bi bil zmožen določiti uporabnost podatkov. Pogoji uporabe naj bi bili jasno opisani.

3 Integracija podatkovnih slojev

WISE načrtuje integracijo vseh podatkov o vodah, ki se zbirajo na evropskem nivoju. To so podatki, ki so vključeni v kontekst obveznega poročanja držav članic EU po obstoječih evropskih direktivah (še posebej WFD, BWD, UWWTD, NiD in DWD), poročanje podatkov po prihajajočih zakonodajah (še posebej FD, FD, GD, DSD) in prostovoljno poročani podatki za EEA (*EIONET SoE data on Water*), ESTAT (*joint questionnaire*) in podatki, ki jih zbirajo izvršilna telesa mednarodnih konvencij za vode (Mednarodna komisija za zaščito reke Donave – ICPDR, Mednarodna komisija na Renu – Rhine, OSPAR).

Integracija podatkovnih slojev na evropskem nivoju bo izvedena po korakih in se bo začela z WFD podatki in »EIONET SoE data on Water« podatki.

Slika 1 prikazuje faze širjenja sistema. Prikazuje tudi možnosti WISE za delitev podatkov z drugimi organizacijami (npr. z mednarodno komisijo za morje ali reke, državnimi podatkovnimi sistemi). Razširitev sistema je možna, vendar je odvisen od pripravljenosti partnerjev za vključitev v sistem.



Slika 1: Integracija podatkovnih slojev v WISE (European Commission 2006).

4 Vodna direktiva

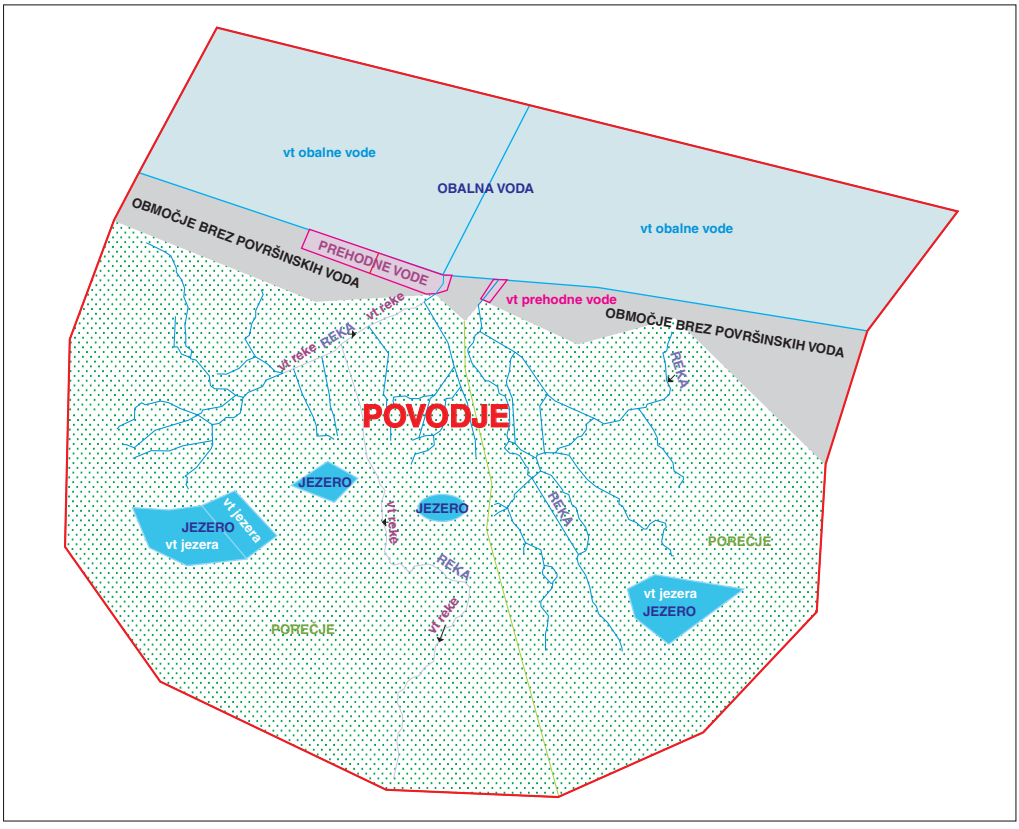
Vodna direktiva (WFD) je direktiva Evropskega parlamenta in sveta z dne 23. oktobra 2000 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike. Cilj te direktive je ohraniti in izboljšati vodno okolje v Skupnosti. V letu 2008 bodo v WISE vključene vsebine, ki so jih države članice poročale po zahtevah 3. in 5. člena Vodne direktive, v letu 2009 pa vsebine, o katerih je bilo poročano po 6. in 8. členu.

Vsebina **členov vodne direktive**, ki so vključeni v model:

- člen 3: usklajevanje upravnih ureditev na vodnih območjih,
- člen 5: značilnosti vodnega območja, pregled vplivov človekovega delovanja na okolje in ekonomska analiza rabe tal,
- člen 6: register zavarovanih območij,
- člen 8: spremljanje stanja površinskih in podzemnih voda ter zavarovanih območij (»monitoring«),

Podatki **členov vodne direktive**, ki so vključeni v model in povezave med njimi:

- člen 3:
  - mednarodna vodna območja,
  - nacionalna vodna območja in pristojne uprave,
  - povodja in porečja,
  - reke, jezera, podzemne vode, obalno morje in somornice;



Slika 2: Relacije med geografskimi elementi, ki jih obravnavajo členi Vodne direktive.

- člen 5:
  – vodna telesa rek (odseki), jezer, podzemnih voda, obalnega morja in somornic;
- člen 6:
  – podatki o zavarovanih območjih;
- člen 8:
  – vodomerne postaje na površinskih in podzemnih vodah.

Vodno območje pomeni območje kopnega in obalnega morja, v katerem je skupaj združenih več sosednjih porečij s pripadajočimi podzemnimi in obalnimi vodami, ki je enolično določen v členu 3(1) vodne direktive kot glavno območje upravljanja z vodami.

Povodje pomeni območje kopnega, iz katerega se vse padavine stekajo s pomočjo številnih potokov, vodotokov in jezer v morje v enem ustju reke, estuarju ali delti.

Podpovodje ali porečje pomeni območje kopnega, iz katerega se vse padavine stekajo s pomočjo številnih potokov, vodotokov in jezer v določeno točko vodnega toka (običajno je to jezero ali reka).

Vodno telo površinskih voda pomeni ločen in značilen element površinskih voda kot so jezero, potok, reka ali kanal, del potoka, reke ali kanala, prehodne vode (somornica) ali odsek obalne vode.

Vodno telo podzemnih voda je pomemben in razpoznaven del podzemne vode znotraj enega ali več vodonosnikov. Podzemne vode so vode pod površino tal v zasičenem območju in v neposrednem stiku s tlemi ali podtaljem. Vodonosnik je plast ali več plasti kamenin ali drugih geoloških plasti pod površjem tal zadostne poroznosti in prepustnosti, da omogoča znatnejši pretok podzemne vode ali odvzem znatnejših količin podzemne vode.

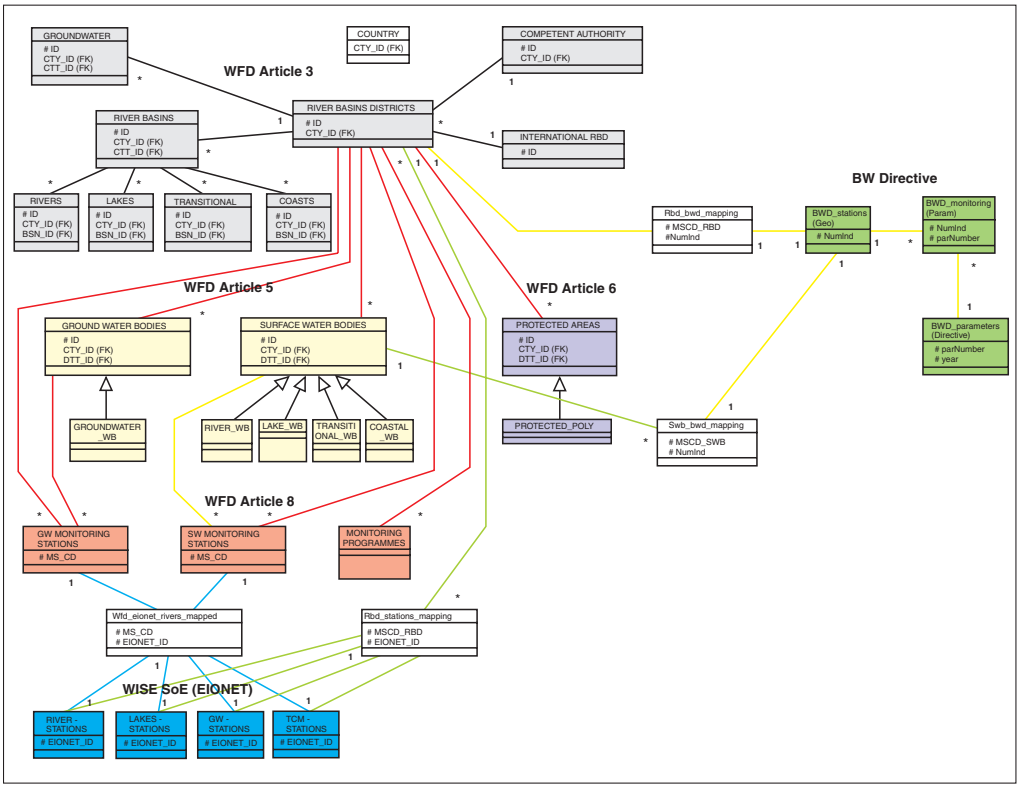
Podatki, ki so jih države članice že poročale kot dobro izvajanje Vodne direktive, so opredeljeni glede na njihove naravne geografske lastnosti. Podaja jih že sama Vodna direktiva. Vsak geografski element Vodne direktive postane objekt v podatkovnem modelu. Njihove prostorske relacije prikazuje slika 2.

5 Izhodiščni podatkovni model WISE

Izhodiščni podatkovni model sistema WISE (slika 3) vključuje geografske elemente, ki jih določa Vodna direktiva. Razdeljen je na štiri sklope tabel, od katerih vsak pripada posameznemu členu Vodne direktive. Povezave med tabelami so lahko notranje (med tabelami znotraj posameznega člena – črna barva) ali zunanje (med tabelami iz različnih členov – rdeča barva). Glede na številnost ločimo naslednje povezave:

- »ena proti ena«, kar pomeni da vsakemu zapisu iz prve tabele pripada natanko en zapis v drugi tabeli (primer: v tabeli »PROTECTEDAREAS« so podatki o zaščitenih območjih; vsakemu zaščitenemu območju iz te tabele pripada natanko en zapis iz tabele »PROTECTED_POLY« kjer je grafična predstavitev tega zaščitenega območja (polygon));
- »ena proti več«, kar pomeni, da vsakemu zapisu iz prve tabele pripada eden ali več zapisov iz druge tabele (primer: posamezno povodje »RIVER BASINS« vsebuje eno ali več rek »RIVERS«).

Izhodiščno tabelo, s katero so povezane ostale tabele podatkovnega modela WISE, predstavlja »NATIONAL RIVER BASIN DISTRICTS«. Vsi objekti, ki pripadajo sloju z izhodiščno tabelo, so bili združeni iz poročanih podatkov držav članic EU po 3. členu Vodne direktive, topološko urejeni in dodan enolični identifikator, ki omogoča povezavo z drugimi tabelami. Objekti »NATIONAL RIVER BASIN DISTRICTS«, ki pripadajo mednarodnemu vodnemu območju, so združeni v sloju mednarodnih povodij (»INTERNATIONAL RBD«). Za podatke posameznega povodja (»NATIONAL RIVER BASIN DISTRICTS«) je pristojen določen državni organ, katerih seznam je v sloju »COMPETENT AUTHORITY«. Vsakemu povodju pripada več porečij (»RIVER BASINS«), v katerem se nahajajo reke, jezera, prehodne vode (somornice) in morja, ki jih sestavljajo posamezna vodna telesa površinskih voda. Lastnosti posameznih vodnih teles se ugotavljajo na osnovi meritev na merilnih postajah (»monitoring stations«), ki se nahajajo na površinskih (reke, jezera) in podzemnih vodah.



Slika 3: Izhodiščni podatkovni model WISE.

Poleg geografskih elementov, ki so vključeni v posamezne člene Vodne direktive je podatkovni model razširjen še s podatki Kopalne direktive (»BW Directive«), po kateri se poroča kakovost naravnih kopališč na rekah, jezerih in morjih, ter s podatki o stanju okolja (»WISE SoE – WISE State of Environment«). Posamezne države se v poročanje o stanju okolja vključijo po želji. Vse podatke smo povezali z izhodiščno tabelo podatkovnega modela WISE.

6 Oblika in dostopnost podatkov

Vsi podatki bodo dostopni prek osnovne spletne strani Evropske agencije za okolje pod tematskih sklopom vode http://www.eea.europa.eu/themes/water/ brez omejitev. Podatki o kopalnih vodah za območje Evropske Unije bodo dostopni preko spletne strani http://www.eea.europa.eu/themes/water/status-and-monitoring/state-of-bathing-water. Podatke o kopalnih vodah bo možno pregledovati preko »WISE viewer«-ja in »Bathing water quality data/map viewer«-ja. Slednji bo vseboval poleg prostorskih podatkov v obliki pdf kart in povezave na vizualizacijo v »Google Earth«-u še diagrame kakovosti kopalnih vod po državah, regijah, provincah in po posamezni lokaciji kopalne vode od leta 2000 naprej. Spletni pregledovalnik »WISE viewer« (vzorec dostopen na spletnem naslovu http://www.eea.europa.eu/themes/water/wise-viewer/) bo omogočal pregledovanje vseh podatkov po vnaprej pripravljenih spletnih kartah z vključenimi določenimi atributnimi podatki. Vsi podatki so geolocirani in umeščeni v prostor v ETRS89 koordinatnem sistemu. K vsaki karti bo dodana razlaga karte in povezave na

sorodne vsebine in dodatne informacije. Poleg informacije o lokaciji merskih postaj bodo na karti vidni tudi razredi, v katere so razvrščene vrednosti za zadnje leto poročanja. Dodana je tudi atributna tabela z ostalimi lastnostmi določenega objekta. V kolikor bomo želeli podatke za lastno uporabo, bomo lahko originalne podatke, ki so jih poročale posamezne države sneli iz ustrezne spletne strani, ki bo vidna v razlagi karte. Vsi podatki o lokacijah s pripadajočimi atributi bodo dostopni v mdb formatu, na katerem je bila predhodno opravljena kontrola podatkov.

7 Sklep

Cilj projekta WISE je povezava razpršenih podatkov o vodah na evropski ravni v informacijski sistem, do katerega bodo uporabniki lahko dostopali preko spleta. V ta namen bodo uvedeni enolični identifikatorji objektov posameznih slojev, ki se bodo uporabljali v vseh direktivah. Identifikator naj bi bil enak za isti objekt, ki se pojavlja v več direktivah. Ključni identifikatorji bodo razviti v letu 2008.

8 Viri in literatura

Cima, J. 2006: WISE Implementation. Data model report, Water Resource Centre Plc. United Kingdom.

European Commision 2006: WISE Implementation Plan 2006–2010 – Summary and resource needs. Final Draft. Bruselj.

Globevnik, L., Kovačič, M., Vrenko, D. 2007: WISE Data model – Concept for an overall data model. Inštitut za vode Republike Slovenije. Ljubljana.

Globevnik, L., Kovačič, M., Vrenko, D. 2007: WISE Data model – Presentation of concept for an overall data model. Inštitut za vode Republike Slovenije. Ljubljana.

Medmrežje 1: http://water.europa.eu/content/view/15/30/lang,en/ (30. 1. 2008)

Medmrežje 2: http://eea.eionet.europa.eu/Public/irc/eionet-circle/eionet-telematics/library?l=/technical_developments&vm=detailed&sb=Title (30. 1. 2008)

Medmrežje 3: http://www.wfd.mop.gov.si/vodna_direktiva_p.htm (30. 1. 2008)

Working Group 3.1. 2003: Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC) – Guidance Document No 9. European Communities. Luxembourg.

UMEŠČANJE VODNIH SISTEMOV V PROSTORSKE VIZUALIZACIJE

mag. Leon Gosar, dr. Franc Steinman, Gašper Rak
Katedra za mehaniko tekočin, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani
leon.gosar@fgg.uni-lj.si, fsteinma@fgg.uni-lj.si, gasper.rak@fgg.uni-lj.si

UDK: 626:659.2:004
COBISS: 1.17

IZVLEČEK
Umeščanje vodnih sistemov v prostorske vizualizacije
Prostorski podatki, s katerimi ponazarjamo elemente vodnih sistemov, v splošnem nimajo stalne geometrije. Tak primer je jezero, ki je vodno telo s prosto gladino, na katerem potujejo valovi. Tridimenzionalna abstrakcija, skozi katero bi lahko pregledovali prostorske podatke o vodnih telesih in vodnih sistemih, je namreč sestavljena iz dinamičnih struktur s kompleksno geometrijo in topologijo. Posamezne aplikacije za izračun elementov vodnih sistemov že omogočajo vizualizacijo geometrijskih in vodnih podatkov (npr. hidravlični modeli), ali pa izvoz podatkov v druga grafična (npr. CAD) in geografska orodja (npr. GIS). Prispevek pa podaja najnovejše delo, s primeri umeščanja vodnih sistemov v navidezno okolje, ki poleg vizualizacije ponuja tudi semantične opredelitve posameznih entitet.

KLJUČNE BESEDE
hidrotehnika, vodni sistem, 3D GIS, navidezno okolje

ABSTRACT
Water systems in spatial visualization
Water systems, presented with spatial data generally don't have constant geometry. An example coud be a lake as a water body with open water surface and waves on it. Three-dimensional presentation of water bodies and water systems is composed with dynamical structures and complex geometry and topology. Several numerical models are already enabling visualization of terrain and water level data or data export in other graphical (e. g. CAD) and GIS environments. Recent work and some case studies of water bodies in virtual environments are presented. Beside visualization this approach offer also semantic determination of some entities.

KEY WORDS
water engineering, water system, 3D GIS, virtual environment

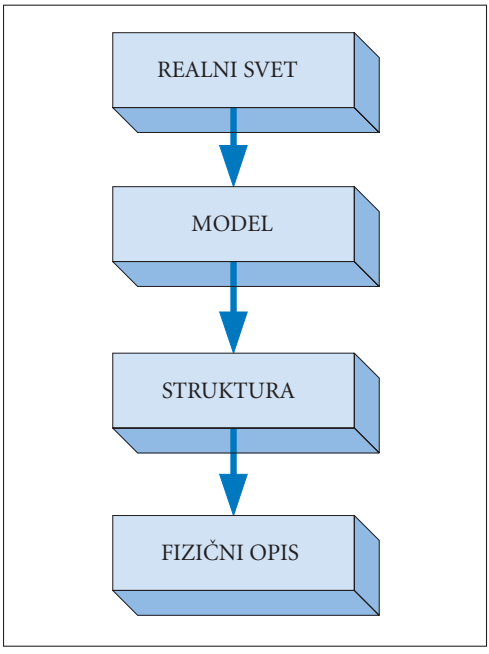
1 Uvod

Voda v vseh pojavnih oblikah predstavlja v celotnem razvoju človeštva enega izmed osnovnih elementov, ki so se ga ljudje bali, ga spoštovali, se prilagajali, ga prilagajali in nenazadnje nujno potrebovali za svoj obstoj. Večanje populacije in rast standarda bivanja neizogibno vodi k povečevanju zahtevnosti nalog, ki morajo biti upoštevane pri urejanju voda. To pa je možno le z rabo raznovrstnih informacij, ki morajo biti ustrezno obdelane in predstavljene. V veliko primerih je potreba po tri dimenzionalnih (3D) informacijah ekstremno visoka. Na primer:

- večje zasebne ali javne gradnje – zadeve v zvezi s 3D medsebojnim vplivanjem med novo načrtovanimi elementi (zgradbe, naprave, prometnice, ipd.) in obstoječimi ureditvami vodnega režima;
- ocena vplivov na okolje – analize in prikaz rezultatov modeliranj, kako vplivajo nove komunikacijske in transportne mreže, tovarne, ipd. na onesnaževanje vodnega okolja;
- rekreacija in turizem – primerna vizualizacija in gibanje v navideznem 3D prostoru;
- trg z nepremičninami – upravljanje lastništva nepremičnin in vidnosti naravnih dobrin;
- upravljanje s posameznimi vodnimi sistemi – načrtovanje ukrepov za izboljšanje stanja voda, kjer je 3D vizualizacija ključnega pomena za usklajevanje v procesih priprave Načrta upravljanja s povodji.

Gospodarjenje z vodami je odgovoren in zapleten proces, v katerega vstopajo različni podatki in odgovori na pritiske, ki jih urbano okolje zahteva v procesih urejanja voda. Primanjkljaj evidenc so v obstoječih informacijskih sistemih že prikazovali različni avtorji (Doyle s sodelavci 1998; Gruber s sodelavci 1997; Tempfli 1998). Največ razprav pa je bilo o predstavljanju in analizi prostorskih objektov v 3D prostoru.

Realnost je preveč kompleksna, da bi bil njen popolni in detajlni opis primeren za praktično uporabo. Tudi človeški spomin in dojemanje delujeta tako, da kompleksne pojme iz okolja reducirata v izkustvene objekte. Zato za posamezno področje dela ali izbrani namen običajno uporabimo poenostavljen, a zelo specificiran način za predstavitev realnosti. To dosežemo z modeliranjem realnosti (slika 1).



Slika 1: Modeliranje realnosti od vseobsežnosti realnega sveta do uporabniškega, fizičnega opisa.

V svetu uveljavljeni sistemi, ki upravljajo s prostorskimi informacijami, so pretežno 2D geografski informacijski sistemi (GIS), 3D sistemi za računalniško podprto načrtovanje (Computer added design – CAD) in 3D sistemi za izdelavo animacij. Izvorni namen CAD sistemov je ustvarjanje, urejanje in prikaz majhnih 3D grafičnih modelov, slabosti pa so vidne pri prikazovanju večjih modelov. Razvoj strojne opreme je odprl nove horizonte za 3D vizualizacijo, ki se pojmuje kot navidezna resničnost (NR). Visoko razvite naprave, pa tudi običajna oprema, omogočajo popolno potopitev v 3D model, simuliranje procesov in opazovanje odzivov, podobnih kot v realnem okolju (svetu). Zato lahko trdimo, da teza Sutherlanda (1970) postaja realnost: »… *Gledali bomo v zaslon kot v okno virtualnega sveta. Izboljšave izdelave slike bodo prikazovale sliko kot realno. Računalniki bodo ustvarjali model sveta v realnem času. Prikaz navideznih svetov bodo omogočali novi zasloni. Uporabnik bo lahko neposredno manipuliral z navideznimi objekti. Objekti se bodo gibali realistično. Navidezni svet bo zvenel in bo občuten realno* …«.

Izkustvo navidezne resničnosti lahko pojmujemo kot vsako drugo izkustvo, v katerem uporabnik učinkovito komunicira z odgovarjajočim navideznim svetom (Brooks 1999). Zasloni in naprave navidezne resničnosti omogočajo uporabniku vstop v interaktivni navidezni svet. Vzpostavljena povezanost med strojno opremo navidezne resničnosti in navideznim svetom se imenuje navidezno okolje, navidezna resničnost pa je logično nadaljevanje interaktivne tridimenzionalne računalniške grafike.

Inženirske, arhitekturne in okoljske aplikacije zahtevajo visok nivo realistične vizualizacije navideznih objektov oz. variacije načrtovanih objektov. Nasprotno pa vizualizacija znanstvenih podatkov ne zahteva realistične vizualizacije, saj je vizualizacija znanstvenih podatkov orientirana predvsem v prikazovanje abstraktnih količin (Bryson 1994; Haase 1994), ki pa so lahko prikazovane v navideznih okoljih, katera predstavljajo realna okolja.

Prostorski podatki, s katerimi ponazarjamo elemente vodnih sistemov, v splošnem nimajo stalne geometrije. Tak primer je jezero, ki je vodno telo s prosto gladino, na kateri potujejo valovi. Tridimenzionalna abstrakcija, skozi katero bi lahko pregledovali prostorske podatke o vodnih telesih, je sestavljena iz dinamičnih struktur s kompleksno geometrijo in topologijo. Ker orodja navidezne resničnosti omogočajo potovanje skozi kompleksne geometrijske strukture, mnogi raziskovalci verjamejo, da je navidezna resničnost ustrezno orodje za raziskovanje kompleksnih tridimenzionalnih elementov (van Dam s sodelavci 2000), ki pa so gradniki ali pa neposredno predstavljajo vsebine različnih sistemov (topologija, stavba, prometnica, gladina vodotoka).

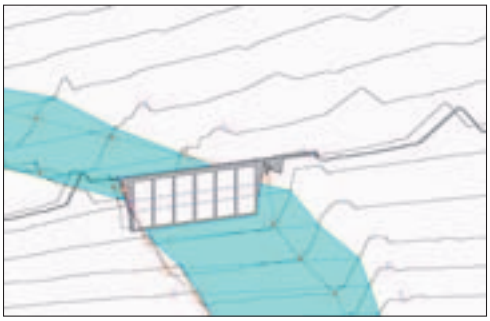
2 Opravljena dela in stanje tehnike

Raziskovanje na področju 3D modeliranja je precej intenzivno, vendar še elementarno in razdrobljeno. Opravljajo ga različni strokovnjaki (GIS, računalniška grafika, CAD, računalniške igrice) s poudarki na konceptualni ali izvedbeni ravni (učinek).

Posamezne aplikacije za izračun elementov vodnih sistemov že omogočajo tridimenzionalno vizualizacijo geometrijskih in vodnih podatkov (npr. hidravlični modeli vodnih teles), ali pa izvoz podatkov v druga grafična in geografska orodja (npr. CAD, GIS), kjer je mogoče ustvariti tudi drugačno pregledovanje. Vendar pa ta orodja ne omogočajo realističnega prikaza časovne dimenzije v grafičnem okolju in združevanje drugih vsebin, ki so neposredno povezane (podatkovno in prostorsko) z vodnimi sistemi. Učinkovitost ukrepov (načrtovanih in izvedenih) na in v vodnih sistemih pa je odvisna tudi od drugih sistemov v prostoru, ki so neposredno ali posredno povezani z vodnim sistemom.

Dosedanje raziskave in izvedena navidezna okolja so bila predvsem s področja raziskav uporabe orodij navidezne resničnosti pri kreiranju navideznih okolij v domeni informacijskih (računalniških) znanosti. Raziskave so bile predvsem spodbujane s strani splošno zanimivih ali pa kapitalsko močnejših področij (Brooks 1999), npr.:

- avtomobilske simulacije – prve in tudi najboljše,
- sprostitev – navidezen sončni zahod, navidezno jahanje,



Slika 2: Prikaz gladine v 3D prostoru matematičnega modela HEC-RAS (Hidravlični model jezu NE Krško, Gosar s sodelavci 2007).

- načrtovanje avtomobilov – ergonomija, oblikovanje, inženiring,
- arhitekturno in krajinsko načrtovanje; naftne platforme,
- trening – NASA, piloti, navtika,
- medicina – psihiatrične terapije, učenje kirurških posegov,
- mikroskopsko sondiranje, idr.

Računalniška tehnologija je razvita do stopnje, ko je zmožna prikazovati večje tridimenzionalne podatkovne nize. Prikazovanje večjih in kompleksno sestavljenih 3D modelov je že možno tudi na osebnih delovnih postajah. *Nasa Word Wind* in *Google Earth* uspešno demonstrirata zmožnosti 3D vizualizacije uporabnikom medmrežja. Potreba po 3D prostorskih informacijah raste izrazito že od zgodnjih devetdesetih let prejšnjega stoletja. Preteklo raziskovanje na področju navidezne resničnosti lahko razdelimo predvsem na vizualizacije poselitvenih območij (Faust 1995; Liggett in Jepson 1995), prostorsko načrtovanje v trirazsežnostnem prostoru (Köninger in Bartel 1998), 3D kataster (Billen in Zlatanova 2003; Stoter 2002), spremljanje okolja (Bragdon in Juppe 1995). Večina raziskovanja je potekala v smeri prikazovanja kompleksnosti realnosti (Eichelberger 1998; Lee 1990) in analize specifičnih področij, npr. transporta (Kwan 2000), informacijskega sistema za obvladovanje nevarnosti (Kwan in Lee 2005), zgradb (Batty in Howes 1996) in monitoringa znotraj zgradb (Chung 1999).

Za prikaz kompleksnih notranjih struktur zgradb (geometrijsko in vsebinsko) so v obstoječih zemljiških katastrih različne omejitve (Molen 2003), čeprav le-ti nudijo pomembne informacije o rabi zemljišč in zgradb, nevarnosti poplavljanja, katastrskih dohodkih, ipd. Čeprav je prostorska informatika že dokazala uporabnost na mnogih področjih (npr. zemljiški kataster, promet, prostorsko načrtovanje, ipd.) z uporabo dvodimenzionalnih prostorskih podatkov (Raper 2000), pa 3D objekti, predstavljeni kot 2D projekcija ali abstrakcija, lahko izgubijo nekatere lastnosti in informacije o prostorskih relacijah do drugih objektov (Billen in Zlatanova 2003).

Simulacija, dandanes pretežno v digitalnem formatu, je pretežno bolj ali manj abstrakcija kompleksne stvarnosti. Mandelbrot (1999) je to opisal kot osnovni problem digitalne prezentacije naravnih pojavov: »… *Oblaki niso krogle, planine niso stožci, obale niso krogi in drevesna skorja ni gladka, niti svetloba ne potuje v ravni črti* …«. Podobno mnenje je izrazil Foley s sodelavci (1990): »… *Osnovna težava doseganja popolne vizualne realnosti je v kompleksnosti stvarnosti. Opazujte obilje svojega okolja. Tu je mnogo površinskih tekstur, nežnih prelivajočih se barv, senc, odbojev svetlobe, nepomembnih nepravilnosti v okoliških objektih. Zamislite si vzorce na gubah obleke, strukturo kože, razmršene lase, nedrseče podloge na tleh in drobce barve na stenah. Vse to sestavlja 'realno' vizualno doživetje* …«.

3 Modeliranje vodnih sistemov v 3D prostoru

Vizualne 3D-informacije ljudje hitreje prevzemajo. Človeški možgani jih namreč bolje obdelujejo in učinkoviteje interpretirajo kot pa besedila, numerične vrednosti, klasične karte ali diagrame.

Vizualizacija je prav tako bolj zanimiva od drugih vrst računalniških prikazov. Posledica so spremenjeni pogledi in pričakovanja uporabnikov, ki želijo vključiti nove možnosti ter uporabljati tudi realistične in interaktivne 3D-prikaze stvarnosti na obravnavanem področju (Šumrada 2005).

Vodni sistem, ki je v izhodišču opredeljen z naravnimi zakonitostmi, zapisanimi s fizikalnimi pravili, je z obstoječimi orodji navadno pomanjkljivo ponazorjen, saj je treba v učinkoviti opis gospodarjenja z vodami, oziroma z vodnimi sistemi, vključiti tudi zanje veljavna ekonomska in pravna pravila. To pa pomeni, da se vključujejo še strokovnjaki iz drugih področij, za katere pa ni nujno, da znajo razbrati npr. tehnično-tehnološke načine zapisov (in seveda obratno). Razvoj, ki bo usmerjen v prehod od obstoječih podatkovnih struktur, ki opredeljujejo model vodnega sistema z grafičnimi opisi v dveh dimenzijah (2D), v navidezno 3D okolje, je pogojen tudi z najnovejšimi spoznanji o vodnih sistemih in vodi k prikazovanju (simuliranju) realnih naravnih pojavov in prikazovanju vplivov dogovorjenih (predpisanih, ekonomskih ipd.) pravil na njih.

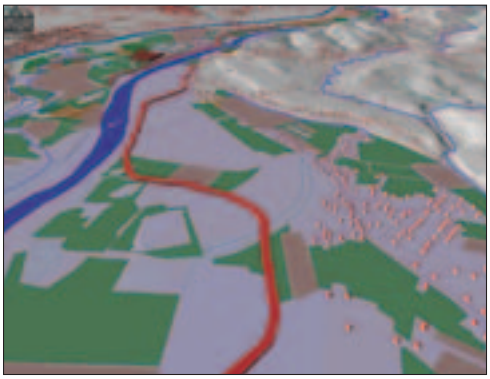
Za prikazovanje izvornih in modeliranih podatkov o vodnih sistemih so se v svetu uveljavile različne metode in pristopi, ki so ozko specializirani za le določene elemente ali pojave vodnih sistemov, kot je npr. tridimenzionalna vizualizacija propagacije toka vode v strugi. Raziskave pa vodijo v združevanje elementov in pojavov modela vodnih sistemov z drugimi elementi, ki predstavljajo realni in abstraktni prostor, na katerega vodni sistemi vplivajo (in obratno). Takšen pristop v navideznem okolju pa omogoča iskanje in pridobivanje novih spoznanj, ki bodo potrebna za trajnostno gospodarjenje z vodami v prihodnje.

Razvoj, uporaba in vzdrževanje modelov vodnih sistemov v 3D prostoru vsebuje širok nabor vprašanj glede izbora 3D modela, zbiranja podatkov, analiz, upravljanja s podatki, vizualizacij in oddaljenega dostopa do prostorsko umeščenih podatkov. Raziskave o vključevanju vodnih sistemov v 3D prostor naj bi posebno razjasnile naslednja vsebinska vprašanja: razumevanje pojmovnega modela, zajem podatkov in prostorske analize.

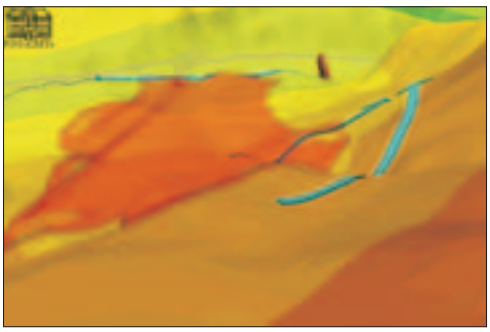
- Pojmovni model: Splošno razumevanje pojmovnega modela (in pripadajočega logičnega modela) je ključni element razumevanja 3D navideznega prostora in vsebovanega modela vodnega sistema. Pojmovni model združuje informacije o pojmih (opisih, semantiki), 3D geometriji in 3D prostorskih relacijah (3D topologija). Pojmovni model omogoča načine opisovanja objektov iz realnega okolja in prostorske relacije med njimi. Modeli vodnih sistemov morajo zadostiti pogojem 3D topologije in 3D vizualizacije v realnem času, kar je sodeč po literaturi, le slabo raziskano (Koutek 2003).
- Zajem podatkov: Zajem podatkov v 3D drastično poveča ceno pridobivanja podatkov v primerjavi z 2D zajemom podatkov. Navkljub razvoju v avtomatskem zaznavanju 3D objektov je ročno delo še vedno prevladujoče. Metode izdelave modelov z združevanjem različnih virov podatkov, npr. tehnik avtomatskega zajema podatkov (geometrije in slike za teksture), pravila in algoritmi združljivosti podatkov, algoritmi avtomatske gradnje 3D topologije ipd., so široko zastopane v literaturi predvsem glede gradbenih objektov, manj pa s stališča naravnega okolja.
- Prostorska analiza: Medtem ko so tematske analize in 2D prostorske analize dobro vsebovane v literaturi in v komercialnih produktih, pa so 3D prostorske analize še vedno v začetni intenzivni fazi. Prostorske relacije pa so temeljne za učinkovite prostorske operacije med posameznimi elementi v 3D prostoru npr. vključitev, bližina, enakost, usmerjenost, presek, združevanje. Tretja dimenzija drastično povečuje število in zapletenost vseh možnih relacij v primerjavi z 2D prostorom.

4 Primeri umeščanja vodnih sistemov v prostorske vizualizacije

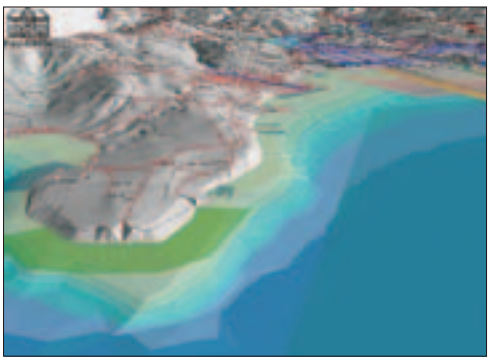
Katedra za mehaniko tekočin Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani se v sklopu pedagoškega procesa in strokovnih nalog ukvarja z uporabo različnih metod vizualizacij vodnih sistemov ali posameznih elementov vodnih sistem. Pretežno se za vizualizacije vodnih sistemov v trirazsežnem



Slika 3: Prikaz načrtovanih protipoplavnih ureditev na Dravi ob Spodnjem Dupleku (rdeč vzdolžni objekt predstavlja protipoplavni nasip) (vir: UL, FGG-KMTe).



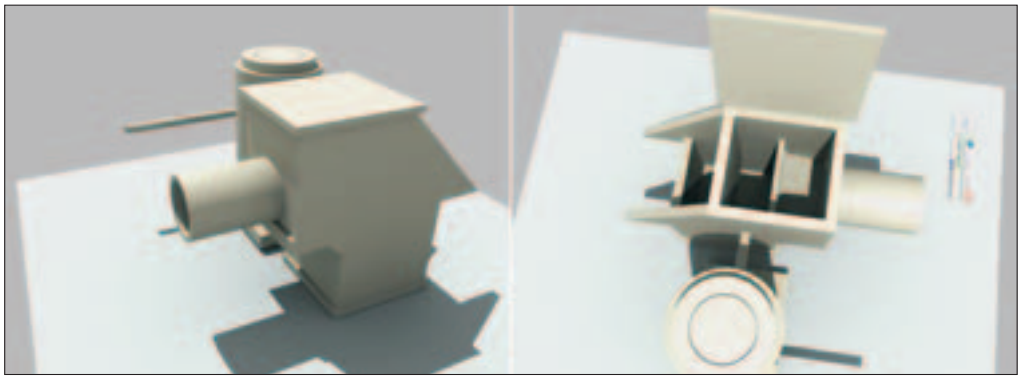
Slika 4: Prikaz načrtovanih ureditev plazu Stože (oranžna barva predstavlja območje plazu Stože, modre linije pa drenaže plazu in smer odtoka vode) (vir: UL, FGG-KMTe).



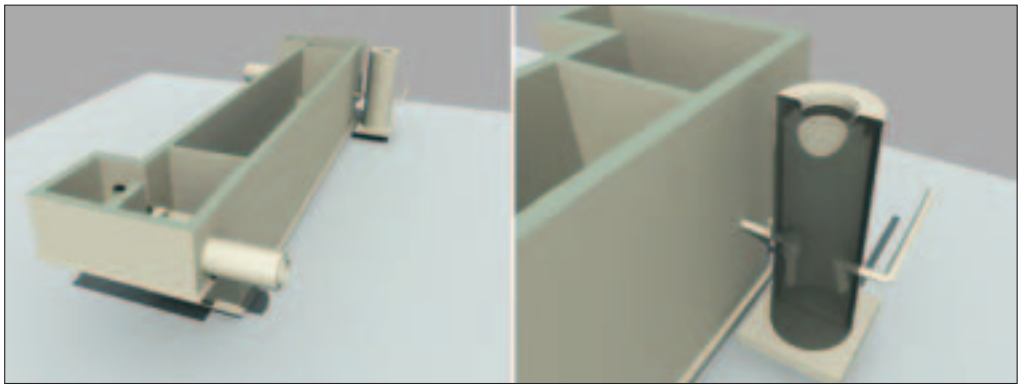
Slika 5: Prikaz 3D pravnih režimov morja Republike Slovenije (vir: UL, FGG-KMTe).

prostoru uporablja orodje ESRI ArcView 3D Analyst, saj le ta omogoča tudi semantične opredelitve posameznih entitet v prostoru, npr. opisne lastnosti, ki se uporabljajo tudi v orodjih (2D) GIS.

V tehnikah vizualizacije smo pretežno uporabljali ti. 2,5D modeliranje trirazsežnega prostora, ki nastane s kombinacijo prostorske ploskve TIN in nanosnih slojev, ki so ponazarjali ureditve in objekte v prostoru. Posameznim ureditvam in objektom dodana tretja dimenzija je le v funkciji prikazovanja oz. umestitve v prostoru (sliki 3 in slika 4). Poleg prikaza osnovne topografije so dodani še nekateri sloji, ki so povezani s protipoplavno varnostjo, kot so struga Drave, raba (kmetijskih) zemljišč, načrtovana centralna čistilna naprava, okoliško vodovje in zgradbe v naseljih (slika 3). Tovrstno umeščanje vodnih sistemov v prostor omogoča nazorni prikaz pogledov in pričakovanj uporabnikov, ki želijo vključiti nove možnosti ter uporabljati tudi interaktivne trirazsežne prikaze stvarnosti in načrtovanih rešitev.



Slika 6: Model tipskega jaška na AC Lenart–Cogetinci (levo: celoten objekt; desno: notranjost jaška ob odprtem pokrovu) (vir: UL, FGG-KMTe, Inštitut za vodarstvo d. o. o. in VG biro d. o. o.).

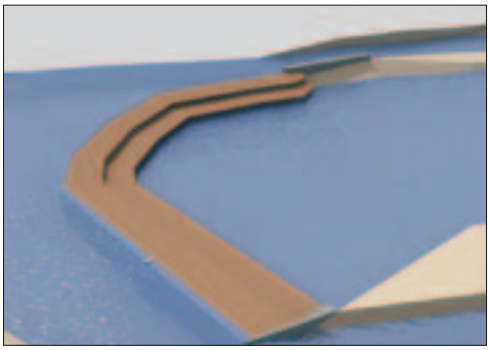


Slika 7: Model zadrževalnika padavinskih voda ob AC Maribor–Lendava (levo: celoten objekt; desno: detajl koalescentnega filtra) (vir: UL, FGG-KMTe, Inštitut za vodarstvo d. o. o. in VG biro d. o. o.).

Vodni sistemi so izrazit trirazsežen sistem, saj npr. za prikaz različnih omejitev, prepovedi in zapovedi v vodnem prostoru potrebujemo nove načine upravljanja z vodami. Tak primer so trirazsežna uveljavljanja vodnih pravic ali pa pravni režimi morja (slika 5), kjer lahko omejitve rabe morja veljajo na gladini, na dnu ali pa v celotnem vodnem stolpcu. Prikaz vodnih pravic v dvorazsežnem prostoru namreč ne omogoča prepoznavanje vseh posebnosti.

Stvarni objekti v prostoru so trirazsežna telesa, ki jih v podatkovnih bazah GIS poskušajo obravnavati kot geometrijsko opredeljene objekte v prostoru z vsebino. Trenutno stanje razvoja GIS ne omogoča natančnih prikazov objektov in detajlov objektov, saj je bila v preteklosti to domena CAD orodij. Za prikaz vodnih zgradb kot delov vodnih sistemov smo uporabljali orodja, ki omogočajo realistično 3D modeliranje, vendar pa ne omogočajo razvoja opisnih podatkov posameznih elementov v prostoru. Ta orodja za upodabljanje so namenjena pretežno realnim vizualizacijam ter so močno razširjena v filmski industriji, npr. Alias Maya, Autodesk 3D Studio MAX. Upodabljanje zgradb je mogoče izdelati z najpodrobnejšimi detajli ter jih opremiti z realnimi strukturami površin. Hkrati pa je možna tudi simulacija gibanja posameznih sestavnih delov objektov (sliki 6 in slika 7), kar poglablja spoznavanje s tovrstnimi objekti v pedagoškem procesu.

Realistično prikazovanje in animacija sta s trenutnim stanjem tehnike mogoča le s tovrstno programsko opremo, mogoča pa je tudi izgradnja geometrične topologije. Vizualizacija delov objekta



Slika 8: Model jezu na Dravinji pri Slapah (pod gladino vode je viden talni izpust) (vir: UL, FGG-KMTe, Inštitut za vodarstvo d. o. o. in VG biro d. o. o.).

omogoča raznovrstne poglede, tudi znotraj objekta, zato je mogoč učinkovit prikaz funkcionalnih lastnosti objekta. Kombinacija zgradbe, okoliškega prostora in prosojne vodne gladine (slika 8) pa lahko poda povsem nove vizualne učinke.

V uporabi, obdelavi, analizi in prikazovanju prostorskih entitet in naravnih pojavov v trirazsežnem prostoru je zelo pomembna točna lokacija v prostoru. Sistemi GIS že podpirajo geokodiranje trirazsežnih objektov, izdelanih v programski opremi za akumulativno in proizvodno modeliranje, ki so upodobljeni kot simbol, ter jih je mogoče opremiti z dodatnimi opisnimi vsebinami. V nadaljnjem razvoju pa lahko pričakujemo neposredno uporabo prej omenjenih načinov modeliranja tudi v 3D GIS sistemih.

5 Sklep

Trenutna orodja GIS še ne omogočajo primernega 3D modeliranja relacij med prostorskimi objekti. Komponente prostorskih objektov so prikazane z različnimi tehnikami, od 2D in 2,5D GIS do uporabe 3D simbolov. Razlog je v težavnosti natančne ponazoritve relacij med posameznimi objekti in umestitev v ustrezno podatkovno shemo. Kljub temu pa se v modeliranju z vodo povezanih naravnih procesov že široko uporabljajo tehnike vizualizacij trirazsežnih podatkov, saj ti procesi postanejo mnogo bolj razumljivi splošni javnosti, če so prikazani v navideznem trirazsežnem okolju.

Tehnološki razvoj GIS bo nedvoumno vključeval, poleg boljše kakovosti in realnejših prikazov ter zanesljivejših in hitrejših metod prikazovanja posameznih objektov in modelov sistemov, tudi možnost poizvedovanja, upravljanja z raznovrstnimi opisnimi podatki entitet, značilnimi za 3D prostor, 3D analize prostorskih podatkov, urejene vsebinske in geometrične topolške sheme ipd.

Nadaljnji razvoj in raziskovalna dela bodo tekla v smeri združevanja akumulativnega in proizvodnega modeliranja v smislu vzpostavljanja pravega 3D GIS, razvoja orodij za 3D prostorske operacije, izdelavo vmesnika navidezne resničnosti, vključevanje tudi drugih dimenzij npr. časa, izdelavo 3D prostorskega indeksa glede na uporabniške zahteve celotnega 3D modela, 3D kartografski prikaz 3D prostorskega modela in načine 3D prostorske generalizacije.

6 Viri in literatura

Batty, M., Howes, D. 1996: Exploring urban development dynamics through visualization and animation, Inovations in GIS 3. New York.

Billen, R., Zlatanova, S. 2003: 3-D spatial relationships model: A useful concept for 3-D cadastre? Computers, Environment and Urban Systems 27.

Bragdon, C., Juppé, J. 1995: Sensory spatial systems simulation (S4) applied to the master planning processes: East Coast and West Coast case studies. Environment and Planning B: Planning and Design 22.
Brooks, P. P. 1999: What's Real About Virtual Reality. IEEE Computer Graphics and Applications 19-6.
Bryson, S. 1994: Virtual Environments in Scientific Visualization. Proc. ACM VRST'94.
Chung, K. C. 1999: Three-dimensional analysis of airflow and contaminant particle transport in a partitioned enclosure. Environment and Planning B: Planning and Design 34.
Doyle, S., Dodge, M., Smith, A. 1998: The potential of web-based mapping and virtual reality technologies for modelling urban environments. Computers, Environment and Urban Systems 22-2.
Eichelberger, P. 1998: 3D GIS: The necessary next wave. Geo Info System 8-1.
Faust, N. L. 1995: The virtual reality of GIS. Planning and design 22.
Foley, J. D., van Dam, A., Feiner, S. K., Hughes, J. F. 1995: Computer Graphics: Principles and Practice. Reading.
Gosar, L., Rak, G., Steinman, F. 2007 Projektni pretoki za HE na Savi. Zbornik referatov Mišičev vodarski dan 18. Maribor.
Gruber, M., Kofler, M., Leberl, F. 1997: Managing large 3D urban data base contents supporting photo-texture and levels of details. Proceedings of the Ascona Workshop '97: Automatic Extraction of Man-made objects from Aerial and Space Images. Basel.
Haase, H. 1994: How Scientific Visualization Can Benefit from Virtual Environments. CWI Quarterly 7-2.
Könninger, A., Bartel, S. 1998: 3D-GIS for urban purposes. GeoInformatica 2-1.
Koutek, M. 2003: Scientific Visualization in Virtual Reality: Interaction Techniques and Application Development. Ph. thesis.
Kwan, M. P. 2000: Interactive geovisulaization of activity-travel patterns using 3D GIS: A methodological exploration with a large datasets. Transportation Research C 8.
Kwan, M. P., Lee, J. 2005: Emergency response after 9/11: The potential of real-time 3-D GIS for quick emergency response in micro-spatial environments. Computers, Environment and Urban Systems 29.
Lee, Y. C. 1990: Geographic information systems for urban applications: Problem and solutions. Environment and Planning B: Planning and Design 17.
Liggett, R. S., Jepson, W. H. 1995. An integrated environment for urban simulation: Problems and solutions. Environment and Planning B: Planning and Design 22.
Mandelbrot, B. B. 1999: The Fractal Geometry of Nature: updated and augmented. New York.
Molen, P. V. D. 2003: Institutional aspect of 3D cadastre. Computers, Environment and Urban Systems 27.
Raper, J. 2000: Multidimensional geographic information science. London.
Stoter, J. E. 2002: 3-D cadasters, state of the art: From 2-D parcels to 3-D registrations. GIM International, The World Magazine for Geomatics, February.
Sutherland, I. E. 1970: Computer Displays. Scientific American 222.
Šumrada, R. 2005: Strukture podatkov in prostorske analize. Ljubljana.
Tempfli, K. 1998: Urban 3D topologic data and texture by digital photogrammetry. Proceedings of ISPRS, March–April, Tempa.
van Dam, A., Forsberg, A. S., Laidlaw, D. H., LaViola, J., Simpson, R. M. 2000: Immersive VR for Scientific Visualization: A Progress Report. IEEE Computer Graphics and Applications Nov/Dec.

DOLOČITEV ZVEZNEGA POLJA TEMPERATURE ZRAKA IZ SATELITSKIH PODATKOV

dr. Klemen Zakšek
Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU
klemen.zaksek@zrc-sazu.si

UDK: 528.735
COBISS: 1.16

IZVLEČEK
Določitev zveznega polja temperature zraka iz satelitskih podatkov
Prispevek opisuje določitev zveznega polja temperature zraka na višini 2 m iz temperature površja. Večino uporabljenih podatkov je bilo zajetih s senzorjem SEVIRI na krovu satelita MSG. Prostorska ločljivost teh podatkov znaša na območju centralne Evrope približno 5000 m, kar je premalo za natančno določitev temperature površja ali zraka na nehomogenih območjih. Zato je bila najprej izboljšana prostorska ločljivost temperature površja na 1000 m s kontekstualnimi analizami na osnovi podatkov o vegetacijskih indeksih, albedu, nadmorski višini in vpadnemu kotu sonca. S to metodo lahko dobimo temperaturo površja in zraka v visoki prostorski (1000 m) in časovni (15 min) ločljivosti s točnostjo 1,9 °C.

KLJUČNE BESEDE
temperatura zraka, temperatura površja, multipla regresija, kontekstualne analize, daljinsko zaznavanje

ABSTRACT
A continuous air temperature field determination from remote sensing data
The article presents determination of a continuous ambient air temperature field close to the ground (on the height of 2 m) from the land surface temperature. Most data was acquired by SEVIRI, which is an instrument on board Meteosat Second Generation satellite. Its spatial (temporal) resolution equals approximately 5000 m (15 min) in central Europe, which is spatially too sparse to make an accurate estimation of land surface temperature or ambient air temperature in inhomogeneous areas. Therefore, SEVIRI land surface temperature was first downscaled to 1000 m spatial resolution through contextual analyses using the data about vegetation indices, albedo, elevation and incidence angle of the sun. The proposed procedure makes it possible to estimate land surface temperature and ambient air temperature in high spatial (1000 m) and temporal (15 min) resolution with the accuracy of 1.9 °C.

KEY WORDS
ambient air temperature, land surface temperature, multiple regression, contextual analyses, remote sensing

1 Uvod

Vertikalni energijski tokovi v bližini površja so odvisni od temperature tal. Zato zrak ni ogrevan neposredno od Sonca, temveč posredno od tal. Podobno velja tudi za ohlajanje ob (nočnem) termičnem sevanju površja. Temperatura tal je merjena na nekaterih meteoroloških postajah na različnih globinah, vendar se te meritve ne izvajajo na vseh postajah in tudi ne na sami površini tal. Je prostorsko dokaj nehomogena meteorološka spremenljivka, ki ima značilen povprečni dnevni in letni hod. Najvišje dnevne vrednosti doseže v povprečju zgodaj popoldne in najnižje tik pred sončnim vzhodom. Temperaturo površja (tanka gornja plast rastja; v angleški literaturi jo pogosto označujemo s kratico LST), ki se lahko razlikuje od temperature tal (prst ali kamnina), lahko določimo tudi na podlagi daljinskega zaznavanja (Wan in Dozier 1996). Najprimernejši satelitski senzorji za določanje temperatur površja v srednji in visoki prostorski ločljivosti so SEVIRI (MSG), MODIS (Terra in Aqua), AVHRR (NOAA in MetOp) in ASTER (Terra). Prostorska ločljivost omenjenih podatkov na nehomogenih območjih ne zadošča potrebam nekaterih aplikacij, vendar je bilo do sedaj le malo raziskav usmerjenih v izboljšanje prostorske ločljivosti temperature površja, pridobljene z daljinskim zaznavanjem (Venkateshwarlu s sodelavci 2004).

Podobno kot temperatura tal doseže temperatura zraka (v angleški literaturi jo pogosto označujemo s kratico AAT) najvišje dnevne vrednosti zgodaj popoldne in najnižje tik pred sončnim vzhodom. Je linearno odvisna od nadmorske višine: v povprečju pade 6,5 °C na vsakih 1000 m v prosti atmosferi (Rakovec in Vrhovec 1998), nad tlemi na območju Slovenije pa nekako do 4 °C na 1000 m (Mekinda-Masaron 1995). Lokalni vpliv na temperaturo zraka je najbolj izrazit pri najnižjih temperaturah. Pri veliki prostorski variabilnosti je obstoječ sistem meteoroloških postaj v Sloveniji za določene aplikacije (npr. za ugotavljanje območij zmrzali) preredek, saj je značilna horizontalna dimenzija variabilnosti temperaturnega polja (ponekod manj kot kilometer) v tem primeru precej manjša od povprečne razdalje med meteorološkimi postajami (nekaj deset kilometrov). V primerih, če je lokalni vpliv nanjo močan (omejeno mešanje zraka ob nizkih temperaturah, lokalno pregrevanje zraka ob močnem sončnem obsevanju), bi morale biti temperature merjene časovno in prostorsko dovolj pogosto, da bi zadostile kriterijem uporabe v aplikacijah srednje in visoke prostorske ločljivosti.

Vzpostavitev, vzdrževanje in tudi samo nadzorovanje zgoščenega sistema merilnih postaj zahteva veliko sredstev, zato je bolj smiselno modelirati temperature na podlagi drugih dejavnikov v prostoru, ki vplivajo na njihovo prostorsko porazdelitev. V Sloveniji so bila npr. izračunana polja za dolgoletne povprečne mesečne in letne temperature (obdobje 1961–1990) s prostorsko ločljivostjo 100 m (Marolt 2000).

Temperaturna polja za posamezne situacije ali povprečne mesečne temperature se računajo s kombiniranim pristopom (geostatistični in fizikalni model), navadno v prostorski ločljivosti približno 1 km (Dolinar 2004). Do sedaj je bilo v svetu razvitih nekaj diagnostičnih modelov, ki določajo temperature zraka v visoki prostorski ločljivosti na podlagi zgoščene mreže meteoroloških opazovalnic (Brossard s sodelavci 2002; Joly s sodelavci 2003; Pape in Löffler 2004). Da določimo temperaturo zraka na podlagi temperature površja, moramo imeti na voljo še dodatne podatke in razumeti povezavo med sevalno temperaturo površja in temperaturo zraka (Meteotest 2004; Sun s sodelavci 2005).

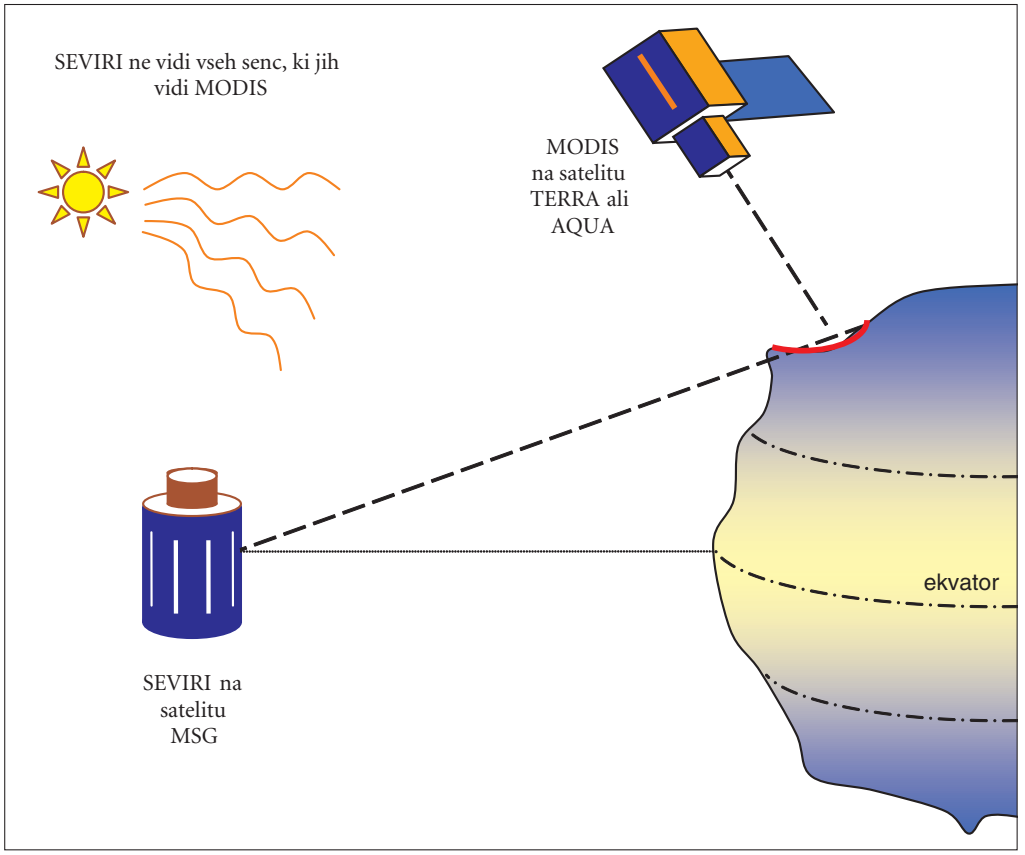
Zvezno polje temperature zraka v visoki prostorski in časovni ločljivosti je mogoče pridobiti z interpolacijo meritev ali pa s parametrizacijo temperature iz npr. satelitskih podatkov. Zanimiva je predvsem parametrizacija temperature zraka iz temperature površja in drugih podatkov, pridobljenih z daljinskim zaznavanjem. Temperaturo površja lahko določimo z visoko časovno ločljivostjo iz geostacionarnih satelitov, ki pa imajo slabo prostorsko ločljivost. Ker je temperatura površja prostorsko nehomogena spremenljivka, je v prispevku pred parametrizacijo temperature zraka opisna izboljšava prostorske ločljivost temperature površja.

Za primerjavo rezultatov je opisana tudi interpolacija meritev. Vsak opisan korak je tudi preizkušen na območju Slovenije v letu 2005.

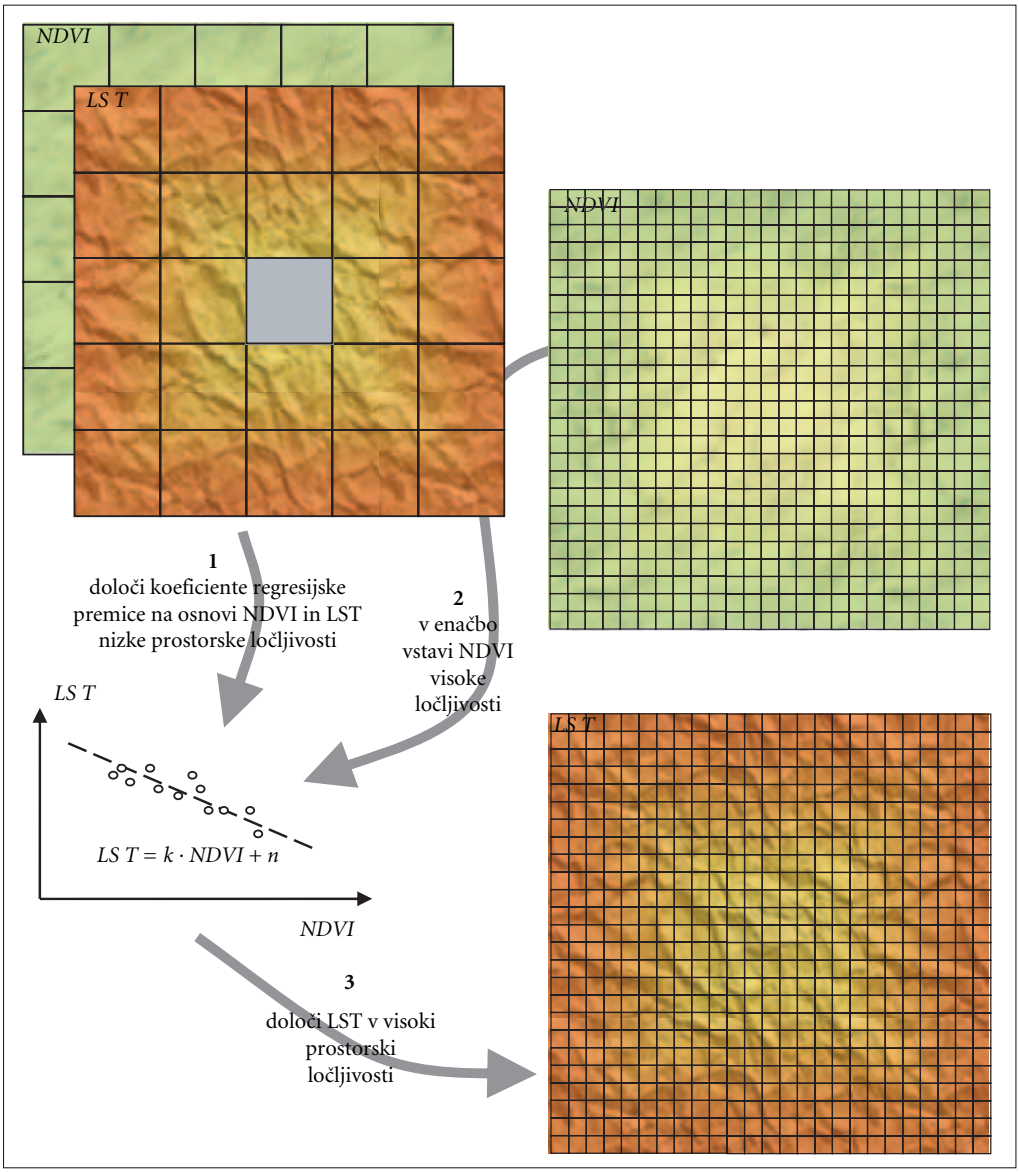
2 Izboljšava prostorske ločljivosti z uporabo kontestualnih analiz

Prostorska ločljivost temperature površja, ki jo posname SEVIRI (na območju Slovenije znaša približno 5000 m), je zaradi velike variabilnosti znotraj enega SEVIRI-jevega slikovnega elementa preslaba za kakovostno določitev temperature zraka. Zato je bila temperatura površja izboljšana s kontestualnimi analizami ob uporabi podatkov boljše prostorske ločljivosti. Na področju izboljšave prostorske ločljivosti temperature površja še ni bilo predstavljenih veliko študij (le Venkateshwarlu s sodelavci 2004). Primerjava SEVIRI-jeve temperature površja z ostalimi primerljivi produkti je pokazala, da je SEVIRI-jeva temperatura v povprečju nekaj stopinj višja kot npr. MODIS-ova temperatura površja (Madeira s sodelavci 2005; Noyes s sodelavci 2006). Razlike so posledica različnih emisivnosti, uporabljenih za izračun ene ali druge temperature in kot gledanja – SEVIRI je na krovu geostacionarnega MSG, ki gleda na Evropo vedno z juga, zato vidi več proti jugu obrnjenih pobočij in manj senc kot MODIS, ki preleti območje skoraj v nadirju (slika 1). Zato smo SEVIRI-jevo temperaturo v izvirni ločljivosti prilagodili MODIS-ovi temperaturi. Pokazalo se je, da so razlike v temeraturah odvisne od:

- deklinacije in zenitnega kota sonca,
- albeda površja,
- deleža pokritosti z rastjem,

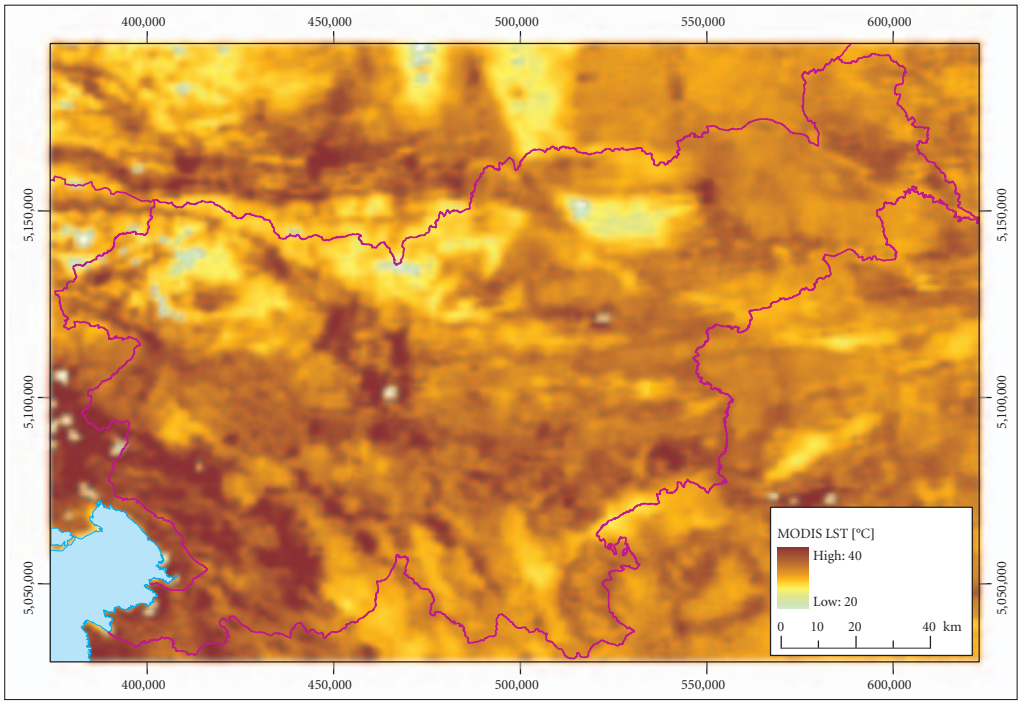


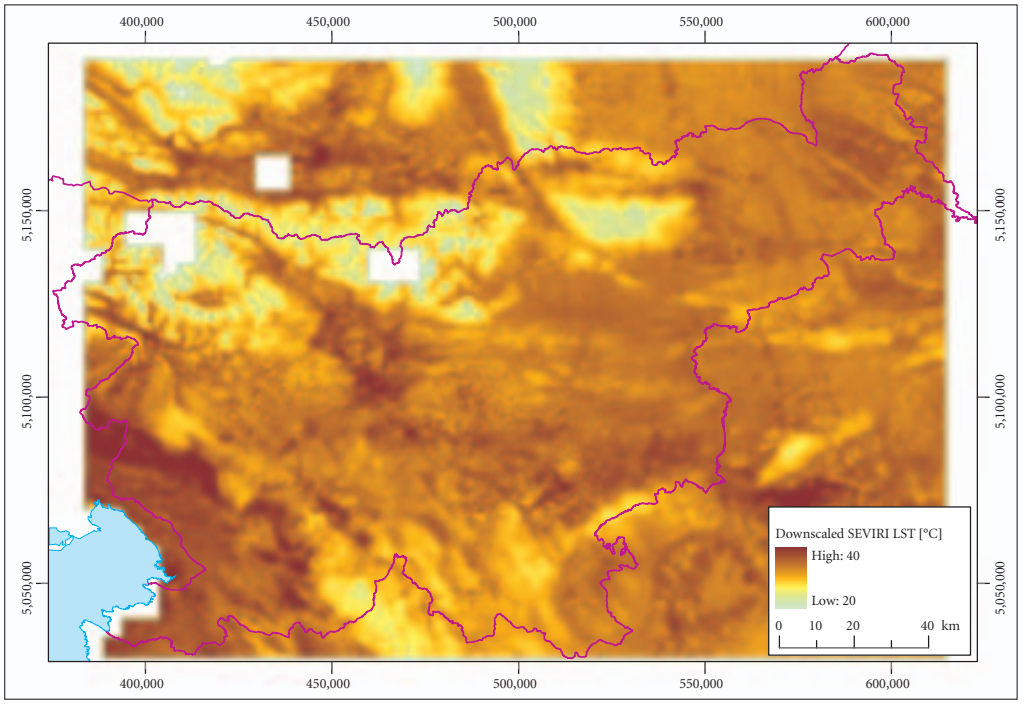
Slika 1: SEVIRI gleda proti Evropi vedno z juga, zato vidi manj senc (rdeče) in več južnih pobočij kot MODIS.



Slika 2: Izboljšanje ločljivosti z uporabo NDVI visoke prostorske ločljivosti.

Slika 3: Primer z MODIS-om zaznane (ob 12:20) in modelirane (ob 12:15) temperature površja za 19. 7. 2006. ➤


400,000
450,000
500,000
550,000
600,000
5,150,000
5,100,000
5,050,000
MODIS LST [°C]
High: 40
Low: 20
0 10 20 40 km


400,000
450,000
500,000
550,000
600,000
5,150,000
5,100,000
5,050,000
Downscaled SEVIRI LST [°C]
High: 40
Low: 20
0 10 20 40 km

- nadmorske višine in
- kota gledanja SEVIRI-ja na površje.

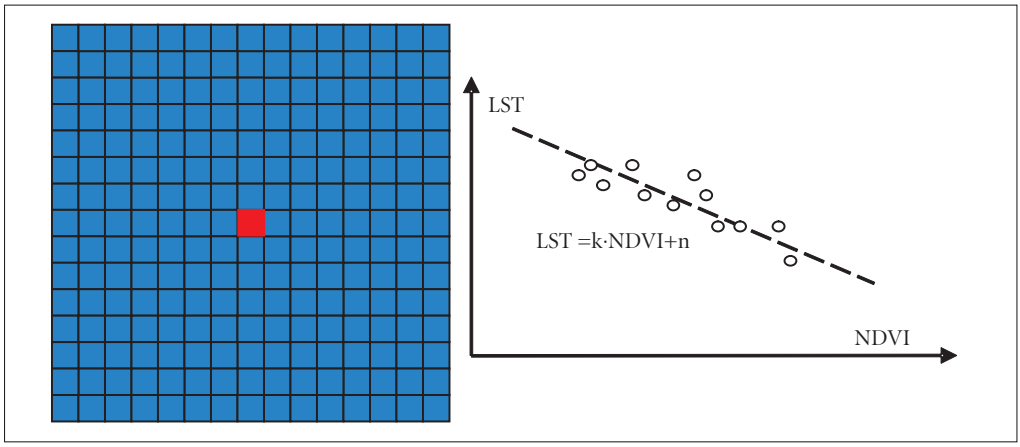
Z uporabo multiple regresije je bil na podlagi 14 posnetkov MODIS-a izdelan popravek za SEVIRI-jevo temperaturo površja (standarni odklon 1,6 °C). Popravljena temperatura površja je bila potem pripravljena za izboljšanje ločljivosti, ki smo ga izvedli s kontekstualno analizo. V preteklosti je bilo namreč že pokazano, da je temperatura površja linearno povezana s stanjem in količino rastja – z indeksom NDVI (Prihodko in Goward 1997). Povezava ni konstanta, saj se spreminja v odvisnosti od časa in kraja. Zato uporabimo kontekstualno analizo, s katero določimo parametre regresijske premice med temperaturo površja in NDVI znotraj premikajočega se okna poljubne velikosti. Regresijski parametri so določeni v ločljivosti 5000 m in če jih prevzorčimo na ločljivost 1000, lahko z uporabo NDVI v prostorski ločljivosti 1000 m izračunamo temperaturo površja v isti ločljivosti (slika 2).

Ker je temperatura površja odvisna tudi od drugih parametrov, kot so nadmorska višina, albedo, vpadni kot sonca in EVI, lahko uporabimo multiplo regresijo, kjer iz statistično značilnih parametrov za vsako rastrsko celico velikosti 5 krat 5 km določimo svojo enačbo. Največja prednost te metode je preprosta uporaba, slabost pa počasno delovanje. Izkazalo se je, da znaša korelacijski indeks med izboljšano temperaturo površja in MODIS-ovo temperaturo običajno 0,8. Pričakovana točnost je enaka SEVIRI-jevi točnosti (povprečni RMSE znaša 2 °C). Slika 3 prikazuje primerjavo rezultatov z referenčnimi MODIS-ovimi podatki – vizualna primerjava pokaže, da sta si obe temperaturi dokaj podobni.

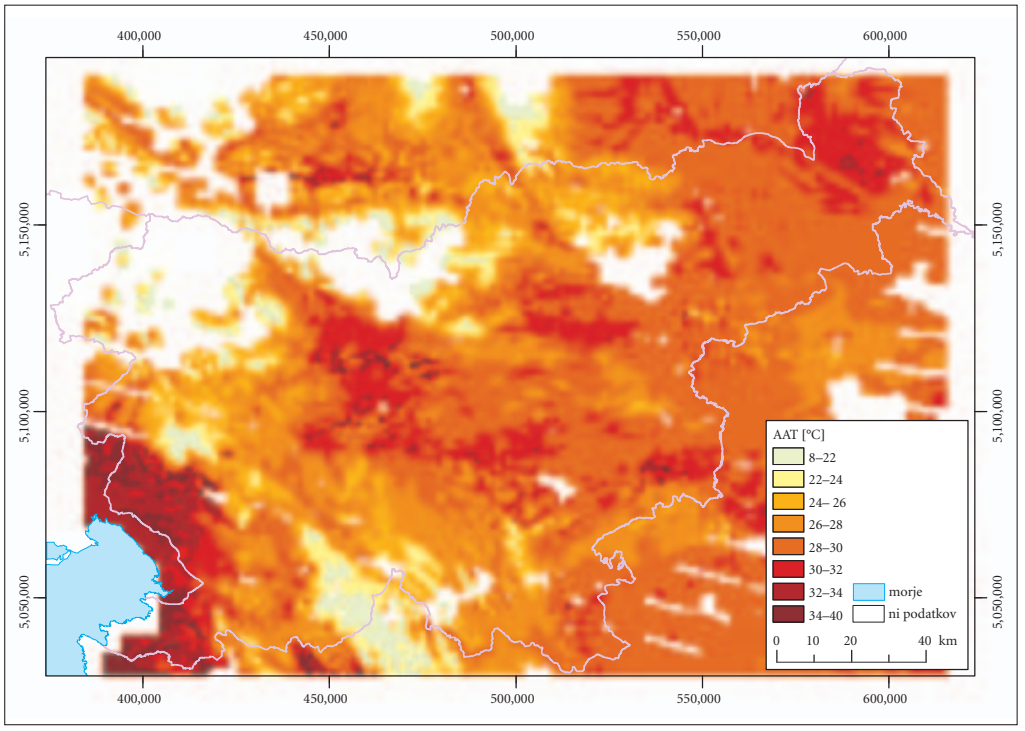
3 Parametrizacija temperature zraka iz temperature površja

Ker se zrak segreva posredno od tal, je temperatura površja, zaznana s sateliti, primeren podatek za določitev temperature zraka. Analiza vremenske napovedi temperature zraka v Sloveniji za 24 ur naprej je pokazala, da znaša točnost napovedi približno 2–3 °C (najvišje in najnižje temperature so načeloma bolje določene), težave pa predstavljajo predvsem nekatere posebne vremenske situacije, kot je npr. megla (takrat je lahko točnost tudi trikrat slabša).

Tudi na področju določitve temperature zraka na podlagi temperature površja ni veliko objav kljub temu, da so se prve študije na to temo pojavile že pred skoraj tridesetimi leti. Objavljene metode lahko razdelimo v štiri skupine. V prvo skupino sodijo tista dela, kjer je temperatura zraka le linearno povezana s temperaturo površja (Chen s sodelavci 1983; Davis in Tarpley 1983). Te študije dajejo sicer



Slika 4: Metoda TVX: parametri regresijske premice so določeni za srednjo celico (rdeče) znotraj premikajočega se okna (svetlo modro). Načeloma velja, da večji NDVI pomeni nižjo temperaturo površja.



Slika 5: Temperatura zraka za Slovenijo (primer za 28. 7. 2005 ob 13:00 GMT) v prostorski ločljivosti 1000 m.

dobre rezultate, vendar le v nekaterih posebnih okoliščinah. Tudi druga skupina študij ima statistično osnovo, vendar ne gre več le za osnovno regresijo, saj upoštevajo tudi npr. zenitni kot sonca (Crosswell 1999), Jang (2004) je uporabil nevronske mreže itd. Tudi TVX metoda je v osnovi statistična metoda, vendar je bila objavljena in preizkušena večkrat (Prihodko and Goward 1997, Czajkowski s sodelavci 2004). Temelji na dejstvu, da več rastja načeloma pomeni nižjo temperaturo površja, ob tem pa še predvidevamo, da znaša temperatura znotraj namišljene neskončno debele krošnje natanko toliko kot temperatura na vrhu krošnje – na kratko: temperatura zraka je kar enaka s satelitom zaznani temperaturi površja v primeru goste vegetacije. Če ocenimo parametre regresijske premice na osnovi kontekstualne analize (slika 4), lahko ob izbrani vrednosti NDVI-ja »neskončno debele krošnje« izračunamo temperaturo zraka, ki običajno dosega točnost 3–4 °C. Četrta skupina študij ima fizikalno ozadje (Meteotest 2004; Pape in Löffler 2004; Sun s sodelavci 2005). Ti pristopi upoštevajo energetsko ravnotežje na zemeljskem površju z modeliranjem energijskih tokov. Načeloma so bolj točni od ostalih modelov (največja odstopanja so manjša od 5 °C), vendar pa za svoje delovanje potrebujejo veliko podatkov.

V prispevku sta preizkušena dva od predstavljenih pristopov:

- TVX zaradi svoje preprostosti in
- Meteotest-ova metoda, ki je edina operativna metoda (znotraj programskega paketa Meteonorm).

Točnost TVX pristopa dosega na območju Slovenije 2,5 °C pri uporabi MODIS-ove temperature površja in desetinko stopinje slabše rezultate pri SEVIRI-jevi temperaturi površja v izvirni prostorski ločljivosti. Uporaba Meteotest-ove parametrizacije je sprva prinesla slabe rezultate, kajti koeficienti parametrizacije so bili kalibrirani le na petih švicarskih postajah. Poleg tega so bile napake odvisne od časa – največje okoli poldneva. V ta namen je bila izdelana nova parametrizacija, ki je temeljila na razlikah

med temperaturo površja in temperaturo zraka. Te razlike so bile pojasnjene z multiplo regresijo naslednjih spremenljivk:
- kratkovalovnega sevanja (popravljenega za vpliv albeda),
- dolgovalovnega sevanja,
- kosinusa zenitne razdalje množenega z logaritmom NDVI in
- hitrosti vetra.

Po kalibraciji nove parametrizacije in ob uporabi temperature površja boljše prostorske ločljivosti, se je točnost močno izboljšala (RMSE = 1,8 °C). Ker v originalni parametrizaciji nastopa tudi hitrost vetra, ki pa nam ni bila na voljo v okviru študije kot raster (le meritve na postajah), smo pripravili tudi parametrizacijo brez hitrosti vetra, ki omogoča določitev zveznega polja temperature zraka.

$$AAT = LST - 6{,}63 - 1{,}43 \cdot \cos(z) \cdot \ln(NDVI) + 0{,}021 \cdot DLSF - 0{,}007 \cdot (1 - AL) \cdot DSSF$$

V gornji enačbi predstavlja AAT temperaturo zraka [°C], LST temperaturo površja [°C], z zenitni kot sonca, NDVI normaliziran diferencijski vegetacijski indeks, DLSF dolgovalnovno sevanje atmosfere [Wm^{-2}], DSSF kratkovalovno sončno sevanje [Wm^{-2}] in AL albedo površja. Statistične kontrole tako parametrizirane temperature zraka znašajo: minimum –7,1 °C, maksimum 4,4 °C, RMSE = 1,9 °C, r = 0,97. Največja odstopanja se pojavljajo v času jutranjih meritev, še posebej pozimi. Slika 5 prikazuje primer parametrizirane temperature zraka.

4 Interpolacija meritev

Za dodatno oceno rezultatov smo parametrizacijo, opisano v tretjem poglavju, primerjali še z interpolacijo meritev. Interpolacijske metode se v grobem delijo na deterministične in geostatistične (Kanevski and Maignan 2004). Obe vrsti temeljita na visoki stopnji prostorske avtokorelacije – predvideva se, da so si območja, ki so si bližje, bolj podobna kot tista, ki so med sabo bolj oddaljena. Deterministične metode so hitre, geostatistične počasnejše, a minimizirajo vpliv šuma v podatkih. Kadar je prostorska avtokorelacija nizka, je treba k izdelavi zveznega temperaturnega polja pristopiti drugače – prostorsko porazdelitev temperature zraka je mogoče določiti tudi iz nekaterih naravnih parametrov, ki jih lahko razumemo kot atribute merilnih postaj. Če je povezava med njimi in temperaturo zraka statistično značilna, potem vplivajo atributi na prostorsko porazdelitev temperature zraka. Zato za izbrano situacijo določimo zvezo med vsemi statistično značilnimi atributi in temperaturo zraka na merilnih postajah. To zvezo nato upoštevamo ob uporabi podatkov, ki so zapisani v pravilni mreži – z multiplo regresijo določimo prostorsko porazdelitev temperature za vse območje. Ta pristop ima kar izbrane prednosti pred klasičnimi oblikami interpolacije, saj lahko na podlagi znanja o vplivih na temperaturo zraka predvidimo pojasnjevalne atribute, ki so nato uporabljeni le v situacijah, ko je korelacija s temperaturo statistično značilna. Prednost pristopa, ki sam izbere pojasnjevalne atribute, je tudi njegova slabost, saj je lahko preverjanje značilnosti korelacij dolgotrajno. Uporabljena metoda je sestavljena iz sedmih korakov:
- izračun prostorske avtokorelacije meritev temperature zraka (nadaljevanje je smiselno le, če je avtokorelacija blizu nič),
- izbira pojasnjevalnih atributov,
- priprava podatkov,
- multipla regresija,
- ocena rezultatov z navzkrižnim preverjanjem,
- dodatna interpolacija odstopanj (če so ta avtokorelirana) in
- kartiranje rezultatov.

Metoda je bila preskušena za območje Slovenije, kjer so bile v okviru prispevka na voljo meritve temperature zraka na dvajsetih postajah za leto 2005 ob 7:00, 14:00 in 21:00 po srednjeevropskem času. Njihova prostorska porazdelitev je bila pojasnjena s podatki, izpeljanimi iz digitalnega modela višin

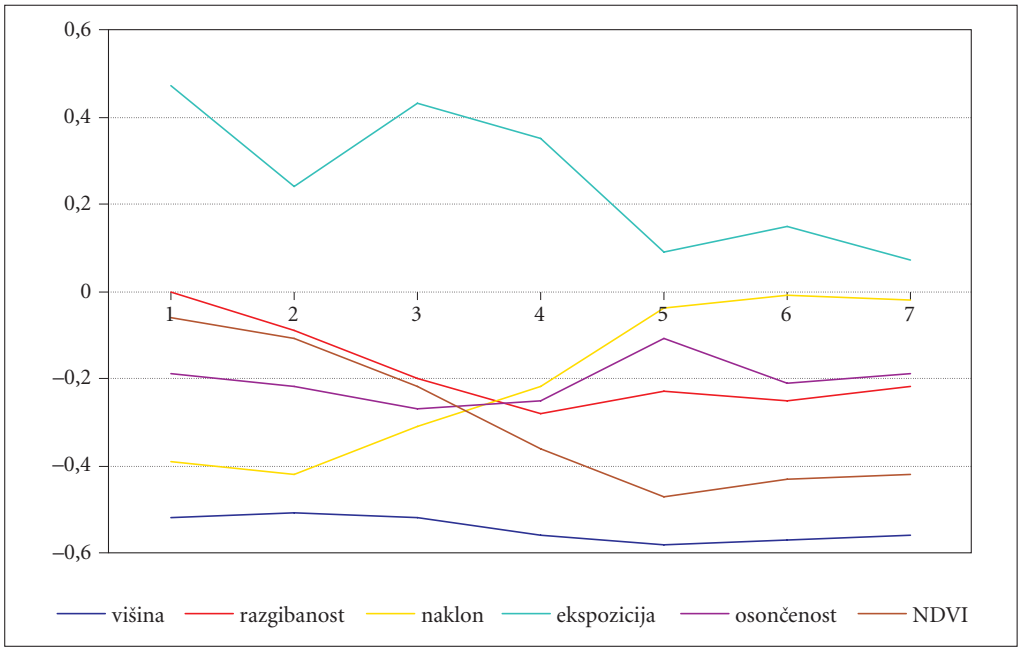
DMR 100 (Podobnikar in Mlinar 2006), podatki o vrsti rabe tal (Kokalj in Oštir 2006) in MODIS-ovimi satelitskimi podatki (preglednica 1).

Preglednica 1: Podatki za izračun temperature zraka.

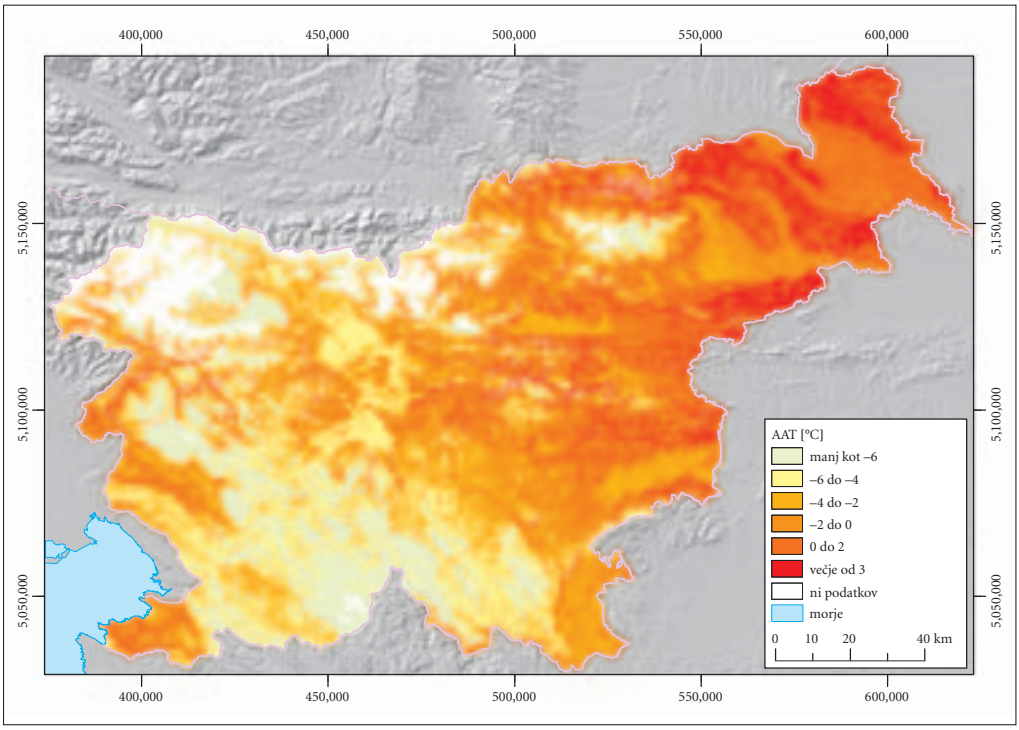
podatki, izpeljani iz DMV	podatki, izpeljani iz vrste rabe tal	MODIS-ovi satelitski podatki
višine	umetno izdelan vegetacijski indeks	NDVI
nakloni reliefa	razdalje do morja	EVI
usmerjenosti reliefa		temperatura površja
kvaziglobalna osončenost		
razgibanost reliefa		
višinska razlika od okolice		

Preglednica 2: Priprava podatkov je potekala znotraj okolic sedmih velikosti.

številka okna	1	2	3	4	5	6	7
velikost (število celic)	3	11	29	51	101	151	201
velikost (km)	0,3	1,1	2,9	5,1	10,1	15,1	20,1



Slika 6: Korelacijski koeficient za šest pojasnjevalnih spremenljivk in sedem velikosti okolic; najbolj značilne korelacije posameznih parametrov so označene s kvadratom. Primer se nanaša na situacijo za 1. 1. 2005 ob 7:00. Vidimo lahko, da je vpliv višine praktično neodvisen od velikosti okna analize, po drugi strani pa je razgibanost reliefa dokaj korelirana s temperaturo v primeru majhnih in slabo korelirana v primeru velikih oken analize.



Slika 7: Interpolirana temperatura zraka v prostorski ločljivosti 100 m; primer za 4. 1. 2005 ob 7:00.

Ker imajo nekateri od teh atributov lokalni in nekateri regionalni vpliv, so bili mnogi od njih določeni znotraj okolic različnih velikosti (preglednica 2). Pokazalo se je, da se vpliv določenih atributov zelo spreminja v odvisnosti od velikosti območja, v katerem je bil atribut določen (slika 6).

Končna točnost znaša 1,6 °C za vse leto. Slika 7 prikazuje primer končnih rezultatov. Rezultati so primerljivi s predhodnimi študijami (npr. Anderson 2002), ne pa tudi npr. s študijo Jolya s sodelavci (2003), ki so dosegli natančnost 0,3 °C, vendar le na območju velikosti 8 km^2 ob 50 merilnih postajah. Rezultati sicer niso bili preverjeni s popolnoma neodvisnimi podatki, ker je bilo merilnih postaj pač premalo. Za oceno točnosti je bila zato uporabljena metoda navzkrižnega preverjanja, kjer je v okviru vsake interpolacije ena od meritev izpuščena iz izračuna. Postopek izračuna odstopanja se ponovi tolikokrat, kot je število postaj. Na podlagi vseh odstopanj se nato oceni točnost rezultatov.

Primerjava točnosti interpolacije in parametrizacije pokaže, da zagotavlja interpolacija boljše rezultate na večini postaj po Sloveniji, vendar je bila interpolacija izvedena v prostorski ločljivosti 100 m, parametrizacija pa 1000 m. Preverili smo še, kolikšen vpliv ima hitrost vetra na določitev temperature zraka. Ugotovljeno je bilo, da je točnost rezultatov pri interpolaciji neodvisna od hitrosti vetra, pri parametrizaciji iz temperature površja pa je točnost metode manjša pri močnejšem vetru, kar pomeni, da je interpolacija tudi robustnejša.

5 Sklep

Modeliranje temperatur površja in zraka na večjih območjih na podlagi satelitskih podatkov je bilo do sedaj izvedeno le v slabi prostorski ali časovni ločljivosti. S predstavljeno metodologijo lahko v geo-

grafskih informacijskih sistemih modeliramo temperature površja v srednjem in velikem merilu v veliki časovni ločljivosti na podlagi podatkov daljinskega zaznavanja, podatkov o reliefu in rastju. Model temperature površja v prostorski in časovni ločljivosti lahko podnevi v nekaterih vremenskih situacijah (kadar je veter šibak in površje ni pokrito s snegom) uspešno uporabimo tudi za določitev temperature zraka. Zvezno polje temperature zraka je bilo določeno tudi z interpolacijo, s katero so bili rezultati sicer boljši, vendar je interpolacija mogoča le ob zadostnem številu meritev. Študijo bomo v prihodnosti razširili na vso osrednjo Evropo.

Zahvala

Prispevek je nastal na osnovi avtorjeve doktorske naloge, pri kateri so mu svetovali dr. Krištof Oštir, Mojca Dolinar, dr. Jože Rakovec, Marion Schrödter-Homscheidt, dr. Thomas Holzer-Popp, dr. Kurt Günther in dr. Daniel Joly. Avtor se vsem zahvaljuje.

6 Viri in literatura

Anderson, S. 2002: An evaluation of spatial interpolation methods on air temperature in Phoenix, AZ. Medmrežje: http://www.cobblestoneconcepts.com/ucgis2summer/anderson/anderson.htm (12. 12. 2006).

Brossard, T., Elvebakk, A., Joly, D., Nilsen, L. 2002: Modelling index of thermophily by means of a multi-source database on Broggerhalvoya Peninsula (Svalbard). International journal of remote sensing 23. New York.

Chen, E., Allen, L. H. Jr., Bartholic, J. F., Gerber, J. F. 1983: Comparison of winter-nocturnal geostationary satellite infrared-surface temperature with shelter-height temperature in Florida. Remote sensing of environment 13-4. Amsterdam.

Cresswell, M. P. 1999: Estimating surface air temperatures from METEOSAT land surface temperatures using an empirical solar zenith angle. International journal of remote sensing 20-6. New York.

Czajkowski, K. P., Goward, S. N., Mulhern, T., Goetz, S. J., Walz, A., Shirey, D., Stadler, S., Prince, S. D., Dubayah, R. O. 2000: Estimating environmental variables using thermal remote sensing. Thermal remote sensing in land surface processes. New York.

Davis, F. A., Tarpley, J. D. 1983: Estimation of shelter temperatures from operational satellite sounder data. Journal of applied meteorology 22-3. Boston.

Dolinar, M. 2004: GIS kot orodje pri izdelavi klimatskih kart. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2003–2004. Ljubljana.

Jang, J. D. 2004: Evaluation of thermal-water stress of forest in southern Québec from satellite images. Doktorska naloga, Faculté de forestrie et de géomatique université Laval Québec. Laval.

Joly, D., Nilsen, L., Fury, R., Elvebakk, A., Brossard, T. 2003: Temperature interpolation at a large scale: test on a small area in Svalbard. International journal of climatology 23-13. London.

Kanevski M., Maignan M. 2004: Analysis and modelling of spatial environmental data. Lausanne.

Kokalj Ž, Oštir, K. 2006: Ugotavljanje pokrovnosti Slovenije iz satelitskih posnetkov Landsat. Geografski vestnik 78-2. Ljubljana.

Madeira, C., Dash, P., Olesen, F., Trigo, I. 2005: Intercomparison of METEOSAT-8 derived LST with MODIS and AATSR similar products. Medmrežje: http://www.eumetsat.int/groups/cps/documents/document/pdf_conf_p46_s4_05_trigo_v.pdf (12. 3. 2007).

Marolt, D. 2000: Prostorske interpolacije minimalne in maksimalne temperature zraka. Diplomska naloga, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko. Ljubljana.

Mekinda-Masaron, T. 1995: Klimatografija Slovenije 1961–1990: temperatura zraka. Ljubljana.

Meteotest 2004: Meteonorm handbook, Part III: Theory Part 2. Medmrežje: http://www.meteotest.ch/pdf/am/theory_2.pdf (12. 3. 2007).

Noyes, E. J., Corlett, G. K., Kong, X., Remedios, J. J., Llewellyn-Jones D. T. 2006: The AATSR land surface temperature (LST) PRODUCT: comparison with LST from SEVIRI. Medmrežje: http://www.leos.le.ac.uk/group/ejn2/FILES/lsa_saf_workshop_2006_paper_aatsr_lst.pdf (12. 3. 2007).

Pape, R., Löffler, J. 2004: Modelling spatio-temporal near-surface temperature variation in high mountain landscapes. Ecological modelling 178/3–4. Amsterdam.

Podobnikar, T., Mlinar, J. 2006: Integriranje podatkov reliefa Slovenije. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2005–2006. Ljubljana.

Prihodko, L., Goward, S. N. 1997: Estimation of air temperature from remotely sensed surface observations. Remote sensing of environment 60-3. Amsterdam.

Rakovec, J., Vrhovec, T. 2000: Osnove meteorologije za naravoslovce in tehnike. Ljubljana.

Sun, Y.-J., Wang, J.-F., Zhang, R.-H., Gillies, R. R., Xue, Y., Bo, Y.-C. 2005: Air temperature retrieval from remote sensing data based on thermodynamics. Theoretical and applied climatology 80-1. New York.

Venkateshwarlu, C., Gopal, R. K., Prakash, A. 2004: Neural networks in land surface temperature mapping in urban areas from thermal infrared data. IGARSS '04 Proceedings.

Wan, Z., Dozier, J. 1996: A generalized split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from space. IEEE transactions on geoscience and remote sensing 34-4. New York.

DIGITALNA KARTOGRAFIJA TAL V SLOVENJI MED LETOMA 1987 IN 2007 – RAZVOJ, DOSEŽKI IN BODOČE IZBOLJŠAVE

dr. Borut Vrščaj
Kmetijski inštitut Slovenije
borut.vrscaj@kis.si

UDK: 528.92:631.4:004(497.4)"1987/2007"
COBISS: 1.17

IZVLEČEK

Digitalna kartografija tal v Slovenji med letoma 1987 in 2007 – razvoj, dosežki in bodoče izboljšave

Prispevek predstavlja pregled dvajsetletnega razvoja digitalne kartografije tal v Sloveniji. Opisani so začetki pedološke informatike, uvajanje pedološke geoinformatike ter uporaba prve GIS programske opreme za zajem in obdelavo podatkov tal. Opisana je digitalizacija pedološke karte, profilov in podatkov onesnaženja tal ter zasnova in izvedba talnega informacijskega sistema. Pojasnjene so strukture sedaj prosto dostopne PK25. Predstavljeni so nekateri GIS projekti v katerih so bili uporabljeni geokodirani pedološki podatki. Varovanje tal in okolja na krajevnem nivoju potrebuje podatke tal večje prostorske ločljivosti. Te je treba prevesti v boljše merilo in izboljšati kakovost. Za vsebinsko in prostorsko nadgradnjo je nujen razvoj novih postopkov in metod digitalne kartografije tal.

KLJUČNE BESEDE
pedološka karta, pedološki profili, podatkovne strukture tal, talni informacijski sistem, GIS

ABSTRACT

Digital Soil Mapping in Slovenia between 1987 and 2007 – development, achievements and future work

The paper presents twenty years of development of digital soil cartography in Slovenia. First activities on soil-informatics followed by the description of rapid development of soil geo-informatics and the introduction of contemporary GIS software are presented. The digitalization of soil map, soil profiles and soil pollution GIS layers and the development of Soil Information System are described. Selected projects where GIS soil information and GIS techniques were used are briefly introduced. The local scale soil and environment protection activities require soil information of better, more detailed spatial resolution. The available soil information in Slovenia requires qualitative and quantitative improvements. The development of new digital soil mapping techniques is needed.

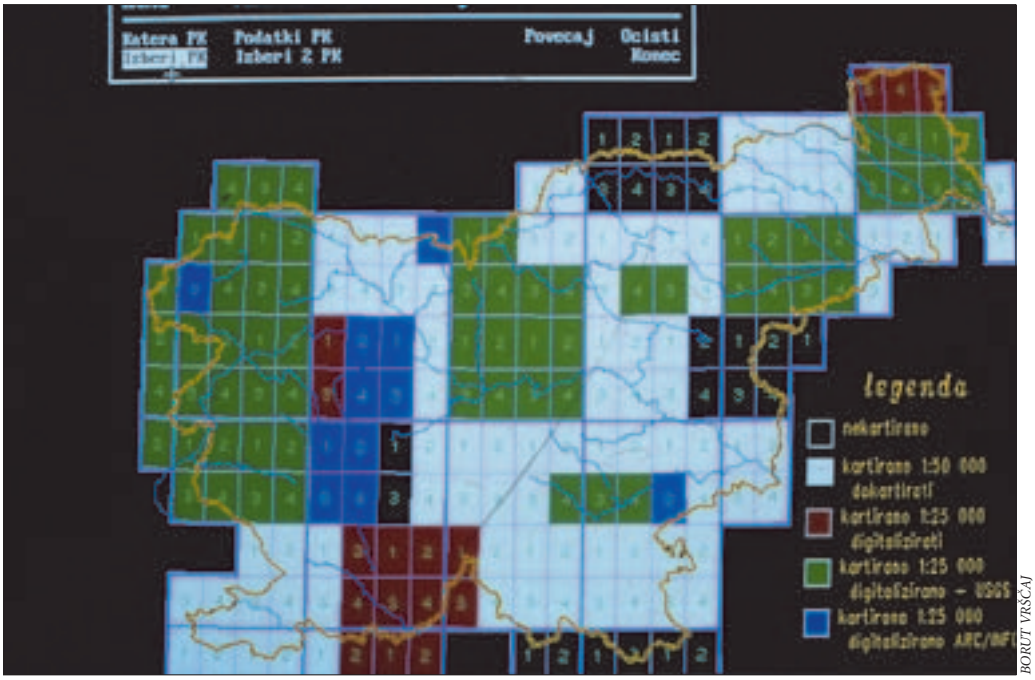
KEY WORDS
soil map, soil profile, soil database structures, soil information system, GIS

1 Uvod

Namen prispevka je na kratko osvetliti zgodovino geoinformatike tal v Sloveniji, predstaviti potek digitalizacije pedološke karte 1 : 25.000 ter pridobivanja točkovno opredeljenih podatkov lastnosti in onesnaženosti tal. Čas je, da orišemo prve začetke pedološkega GIS-a v Sloveniji, saj je mineva dvajset let od nastanka prvih digitalnih kart tal in organiziranega zajema GIS podatkov tega naravnega vira na območju države. Pedologija je bila pionir med naravoslovnimi disciplinami v Sloveniji pri uporabi GIS postopkov (Vrščaj s sodelavci 1990; Vrščaj in Prus 1994a, 1994b) Ob digitalizaciji pedoloških kart in uporabi GIS orodij na podatkih tal, so v zgodnjih devetdesetih pridobivali prve GIS izkušnje tudi strokovnjaki drugih naravoslovnih disciplin (gozdarstva, geologije in fitocenologije) in jih prenašali v svoje okolje.

Računalniška obdelava pedoloških podatkov se je v Sloveniji začela s prvim pojavom računalnikov. V okviru Jugoslavije smo tako kot nekatere druge države (Soil 1979) na podlagi enotne metodologije zbirali alfanumerične podatke pedoloških profilov v takrat sodobnem *Pedološkom informacionom sistemu Jugoslavije* (Pedološka 1978) na VAX računalnikih v informacijskem središču v Sarajevu. Te podatkovne zbirke so bile v devetdesetih med vojno v Bosni in Hercegovini za nekatere republike zgubljene. Podatke tal Slovenije smo ohranili, ker smo jih sproti dopolnjevali na lastnih računalnikih in z razvojem selili med različnimi sistemi, kot so terminali Paka, Commodore 64/128, CPM računalniki, nato PC XT in AT osebni računalniki in v začetku devetdesetih na Unix delovni postaji. Po 1995 se je obdelava pedoloških podatkov ustalila v Windows okoljih.

Geoinformatika pedoloških podatkov v pravem pomenu besede se je začela leta 1987, ko so se v okviru Centra za pedologijo in varstvo okolja Biotehniške fakultete v Ljubljani (CPVO) začele uporabljati prve različice *United States Geological Survey* (USGS) zbirke programov GSMAP & GSPLOT (Selner



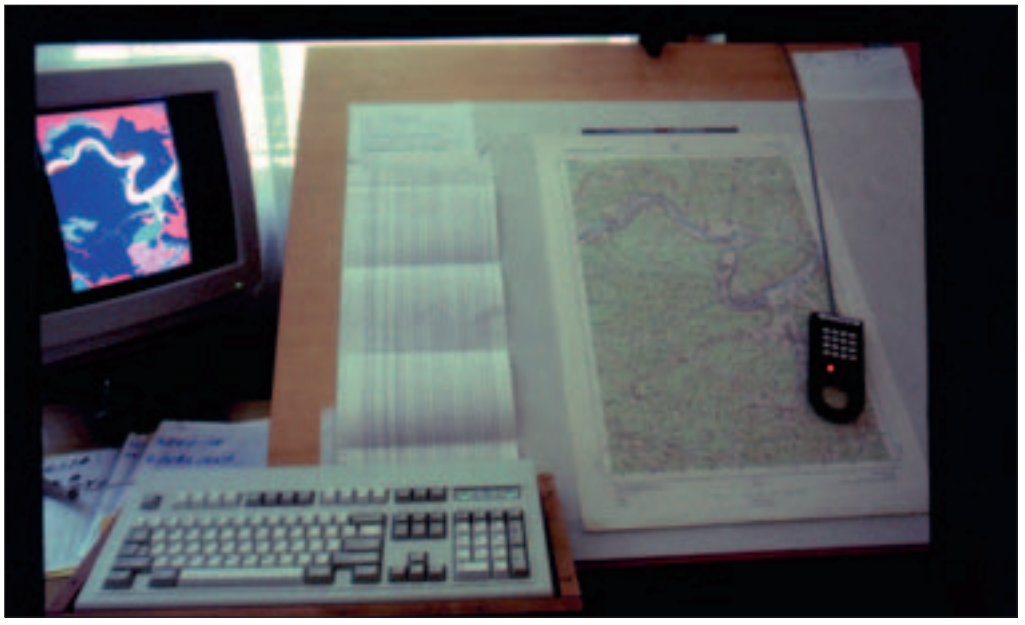
Slika 1: Slika ekrana s SML rutino za nadzor poteka digitalizacije pedološke karte Slovenije v sistemu PC ArcInfo3.4D – legenda glede na rabo programskih orodij.

s sodelavci 1986; Selner in Taylor 1987). GSMAP je služil za vektorizacijo poligonov pedoloških kart ter točk pedoloških profilov, GSPLOT pa za izris kart na HP peresnem risalniku (Vrščaj 1987–1995). Z USGS programsko opremo, s katero je bil zasnovan celoten sistem digitalizacije in izrisa pedoloških kart, smo digitalizirali 65 listov pedoloških kart oz. slabo tretjino nacionalnega ozemlja (slika 1). Ob naraščajočem obsegu dela so se hitro pokazale resne omejitve USGS programov. Informacijski sloji so bili zbirka posameznih zaprtih poligonov brez topologije, medtem ko so bile sposobnosti združevanja, povezovanja in izrisovanja podatkov le osnovne. Potrebe po učinkovitejši programski opremi so leta 1989 botrovale prehodu na PC ArcInfo 3.4D proizvajalca ESRI v DOS okolju. Nakup, ki je bil takrat zaradi skromnih zmožnosti financiranja ponekod pospremljen z zaskrbljenostjo, se je hitro pokazal za pravilno odločitev. PC verzijo smo leta 1992 nadgradili na WS ArcInfo 6.1 na Silicon Graphics delovni postaji in pozneje prešli z Windows NT na Intel procesorsko arhitekturo in Microsoftove operacijske sisteme. V devetdesetih smo za prostorsko interpolacijo podatkov onesnaženja tal uporabljali programski paket Surfer. Sedaj poteka na Kmetijskem inštitutu Slovenije (KIS) obdelava podatkov tal z ArcGIS 9.2 in Arc Info modulom v Windows XP okolju ter v povezavi z Oracle relacijsko bazo podatkov.

2 Geokodirani podatki tal Slovenije

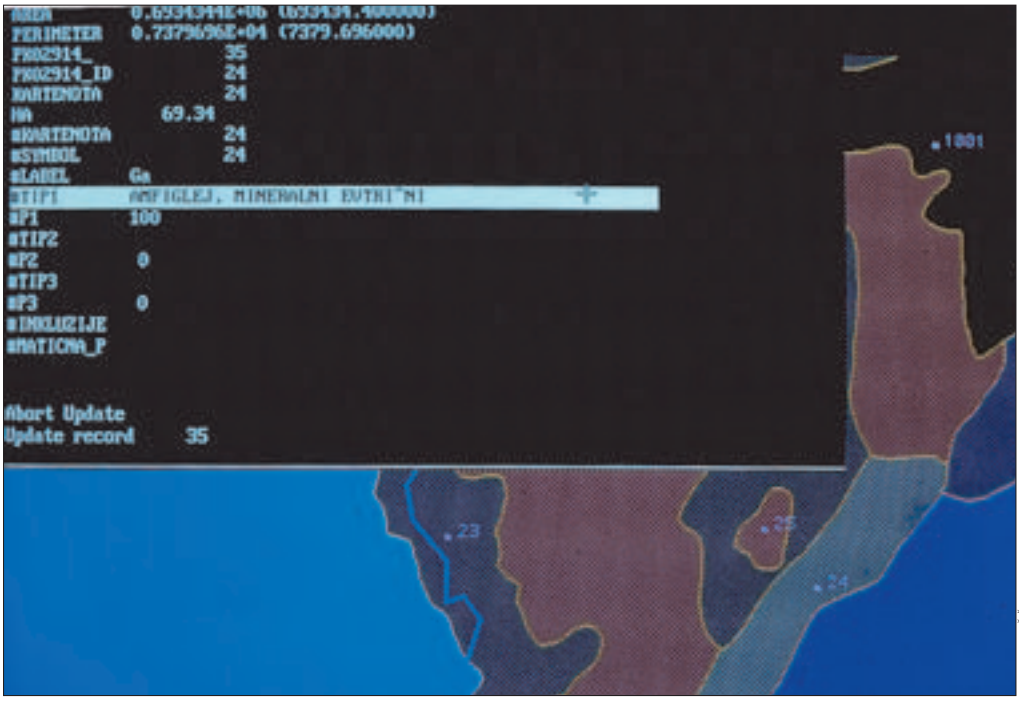
2.1 Pedološka karta 1 : 25.000

Pedološko kartiranje je na terenu sestavljeno iz opazovanj zastopanosti različnih vrst tal, ki nastajajo ob pestrih geomorfoloških pogojih, sondiranja tal, kopanja in opisov zgradbe pedoloških profilov ter diagnosticiranja, popisa morfoloških lastnosti in vzorčenja posameznih horizontov. Po laboratorijski analizi kemijskih in fizikalnih parametrov horizontov sledi kabinetna interpretacija, ki je sinteza terenskih opazovanj in analitskih podatkov, smiselna definicija združb tal ter izris kartografskih enot. Rezultat je avtorski original pedološke karte na listu topografske karte merila 1 : 25.000 (TK25) na kateri



BORUT VRŠČAJ

Slika 2: Digitalizacija avtorskega originala PK25.



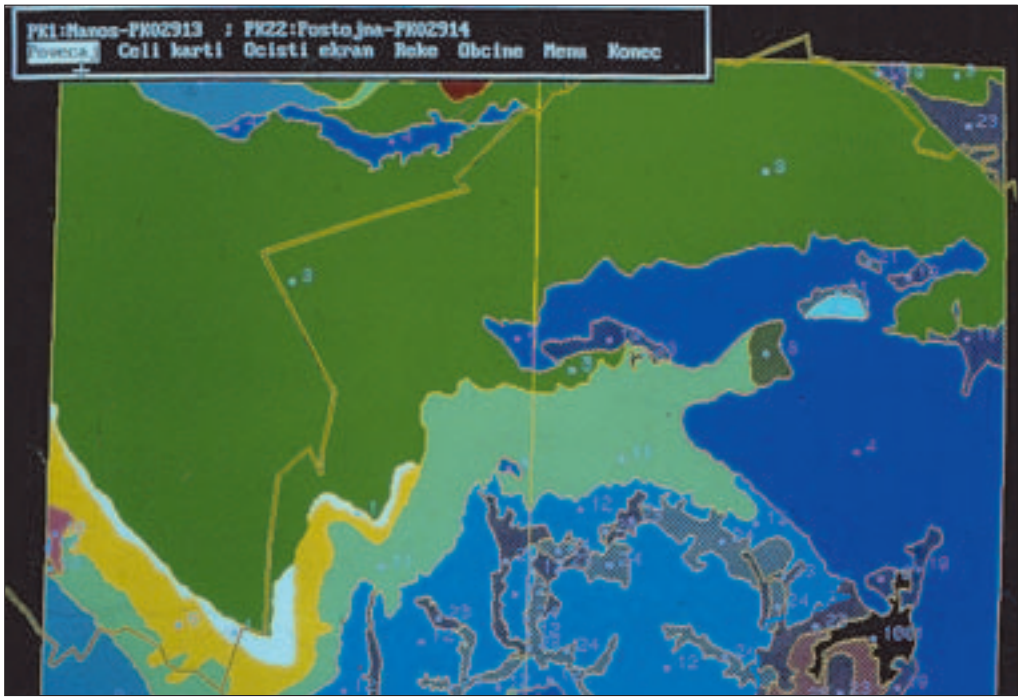
BORUT VRŠČAJ

Slika 3: Vnos in pregled zgradbe talnih kartografskih enot v ArcInfo3.4D SMl aplikaciji.

so izrisani poligoni pedoloških kartografskih enot (PKE). Karto spremljajo opisi in analitski podatki pedoloških profilov s komentarji. Osnovna pedološka karta Slovenije (PK25) je nazivnega merila 1 : 25.000. Pedološko kartiranje so s presledki tri desetletja financirale različne državne inštitucije, od leta 1991 pa Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP).

Slovenijo pokriva 200 listov TK25 v različnih sekcijah. Poligone PKE smo z avtorskih originalov zajemali na A1 GTCO digitalizatorju v modulu ARCEDIT v t. i. špageti načinu (slika 2). Proces smo standardizirali in avtomatizirali z SML/AML rutinami v ArcInfu ter EXE programi za obdelavo podatkov v DOS okolju. Na drugi stopnji smo zgradili pravilno poligonsko topologijo tako, da smo vnesli *label-point* z oznakami PKE, z ukazom *clean* zaprli območja, odrezali vse t. i. viseče loke *(dangling-arcs)* in sestavili poligone PKE. Tem smo določili sestavo – opredelili smo talne sistematske enote (PSE) in njihov delež (%) znotraj PKE (slika 3). Medsebojno ujemanje poligonov na sosednjih listih smo izvajali s prilagojeno *edgematch.sml* rutino (slika 4) in tako pridobili posamezne liste PK25. Zaradi skromne procesorske moči takratnih računalnikov smo posamezne liste PK25 uvrstili v *map library*, ki je omogočala hitrejšo obdelavo. PK25 smo izrisovali na prosojni papir ali direktno na TK25, pri čemer smo natančno ujemanje lista TK25 na risalniku z izrisom zagotovili s programom PLOT.EXE (GZS 1989?).

Osnovni grafični objekt PK25 je poligon PKE, ki omejuje območje v katerem v naravi zasledimo en ali preplet več talnih tipov (= pedoloških sistematskih enot, PSE), ki v naravi značilno nastopajo skupaj in jih zaradi merila karte ni mogoče ločeno prikazati. PSE je torej osnovna enota tal pedološke klasifikacije z značilnimi lastnostmi, ki se bistveno razlikujejo od lastnosti druge PSE. V PK25 je privzeto, da je vsak poligon PKE opredeljen z do tremi najpomembnejšimi PSE, medtem ko je njihova zastopanost v skupni površini opredeljena z deležem (%). Poligoni različnih PKE se torej med seboj razlikujejo po zastopanih talnih tipih in/ali po površini, ki ga ti zasedajo znotraj PKE. Natančna lokacija PSE znotraj PKE ni znana. Vzroki za sestavljene PKE so predvsem v hitri prehodih talnih tipov na majhnem



BORUT VRŠČAJ

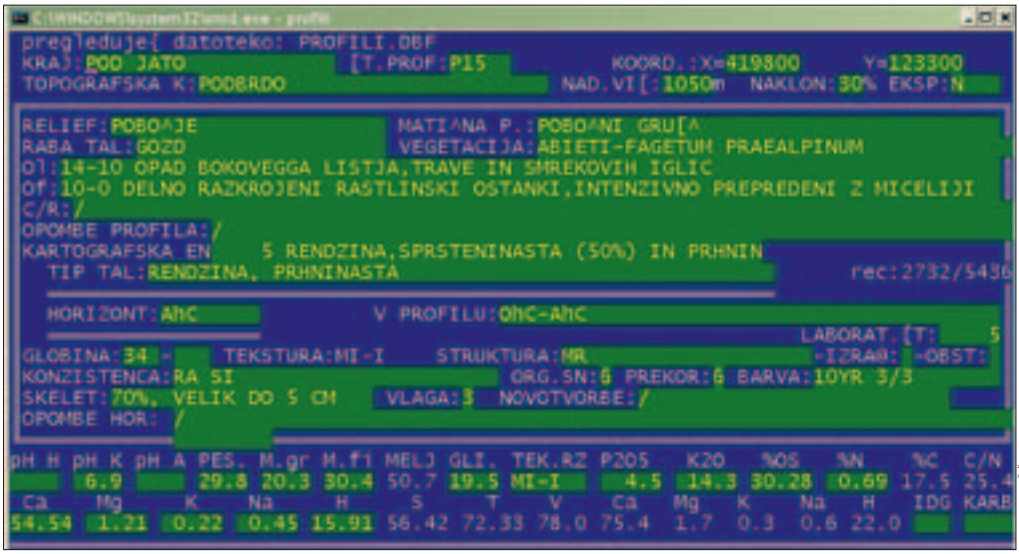
Slika 4: Usklajevanje poligonov dveh listov PK25 z Edgematch.sml rutino na ArcInfo3.4D.

območju, ki jih zaradi metod terenskih preiskav in merila kartiranja ni možno ali smiselno ločevati. V razgibanem prostoru Slovenije le redke PKE vsebujejo samo eno PSE, saj pestrost geomorfoloških oblik in z merilom določena natančnost pedološkega kartiranja, omogoča predvsem določitev PKE z dvema do tremi PSE (Vrščaj 1987–1995). Na poligone PKE je povezana preglednica, v kateri so PKE opredeljene z deleži PSE. Preglednica lahko vsebuje tudi povprečne lastnosti tal v PKE, ki so izvedene na podlagi izračuna lastnosti PSE in njihovih deležev v PKE. Te povprečne vrednosti predstavljajo le dober, merilu kartiranja ustrezen približek. PK25 spremljata šifranta: seznam talnih kartografskih enot in seznam talnih tipov slovenske klasifikacije tal.

2.2 Podatki pedoloških profilov: morfološke, fizikalne in kemijske lastnosti tal

Podatki pedoloških profilov (PP) so opisi lokacij pedoloških profilov, morfološki opis horizontov ter analitski podatki kemijskih in fizikalnih lastnosti pripadajočih horizontov.

Prva programska oprema za vnos in obdelavo podatkov PP je bila napisana leta 1984 za računalnik Commodor 64 v Simon's Basicu. To smo potem hitro prepisovali v druge programske jezike in nadgrajevali na drugih računalniških sistemih (CPM, PC DOS/Windows). Slika 5 prikazuje stran podatkov programa Profili.exe napisan v Clipperju (Vrščaj 1987–1995), ki je v več verzijah najdlje služil za obdelavo dBASE datotek s podatki opisov lokacij profilov ter morfoloških in analitskih podatkov pripadajočih horizontov. Z uvedbo GIS programov smo lokacije Gauss-Kruegerjeve koordinate lokacij profilov odčitali s TK25. V GSMAP smo koordinate vtipkali, z uvedbo PC ArcInfo 3.4D pa smo koordinate prepisali v bazo iz katere smo z ukazom *generate* in *build point* izdelali informacijski sloj pedoloških profilov s točkovno topologijo. dBASE datoteke s podatki PP smo za rabo v ArcInfo okolju pretvorili v INFO obliko (ESRI) in z ukazi *relate* povezovali na GIS sloj točk talnih profilov.



Slika 5: Pregled podatkov talnega profila s programom Profili.exe.

2.3 Podatki onesnaženosti tal

Človek s svojimi dejavnostmi vnaša v okolje snovi, ki le-tega onesnažujejo. Tla so tisti del prostora, v katerem se škodljive snovi kopičijo. Rastline te snovi v večjih ali manjših količinah sprejmejo in tako prehajajo v prehrambeno verigo. Zato med pomembne podatke tal uvrščamo tudi vsebnosti škodljivih snovi v tleh, ki imajo izvor predvsem v emisijah industrije, prometa in kmetijstva. Organizmom so nevarne predvsem težke kovine (Pb, Cd, Cr, Zn, Ni, Hg, Mo itd.), ki so nerazgradljive in v tleh ostanejo ter različne organske snovi (poliaromatski ogljikovodiki, mineralna olja, fenoli, dioksini, itd.) in ostanki fitofarmacevtskih sredstev (npr. DDT, triazinski preparati itd.) za katerih razgradnjo je glede na kemijsko sestavo potreben različno dolg čas.

Zajem podatkov onesnaženja tal se je organizirano in v večjem obsegu začel leta 1988 in še posebej 1989, ko so začele potekati raziskave onesnaženja petih različnih območjih v Sloveniji. Podatke terenskega vzorčenja in laboratorijskih analiz smo povezali s točkovnim informacijskim slojem, ki smo ga izdelali z ukazom *generate* in *build point*. V GIS ArcInfo 3.4D okolju smo izrisovali karte onesnaženja (slika 6), včasih tudi ob uporabi digitalnega modela višin z ločljivostjo 100 m, ki je v Sloveniji na voljo od leta 1974 (slika 7).

3 Pedološki podatki v javni rabi

PK25 je dokument, ki prikazuje prostorsko porazdelitev različnih vrst tal v Sloveniji. Je zelo dobra evidenca talnega fonda na nivoju cele države in regij. Omogoča analizo tal kot naravnega vira, vrednotenje primernosti tal za kmetijsko in drugo rabo; lahko predstavlja podatkovno osnovo pri načrtovanju umestitve velikih infrastrukturnih objektov ali drugih sprememb namembnosti rabe prostora ter za osnovo okoljevarstvenih aktivnosti. Podatki PK25 so pogojno uporabni pri obdelavah v merilih manjših od 1 : 20.000; pri 1 : 10.000 in manj, pa služijo le kot približek in jih je treba dopolnjevati. Pri merilih 1 : 100.000 in več je treba PK25 z ustreznimi postopki generalizirati.

BORUT VRŠČAJ

Slika 6: Izris podatkov vsebnosti (DDT-ja in derivatov) v tleh Ljubljane in okolice v ArcInfo 3.4D okolju.

BORUT VRŠČAJ

Slika 7: Izris podatkov onesnaženja tal s težkimi kovinami za območje Jesenic na 3D mrežnem modelu reliefa v ArcInfo 3.4D okolju.

Podatki PK25 in podatki pedoloških profilov so od začetka 2008 dosegljivi na spletnem naslovu MKGP: http://rkg.gov.si/GERK/. Sloj *PedoloskaKarta.shp* vsebuje PK25 cele Slovenije. V ArcGIS okolju preko relacijskih povezav povežemo poligone PK25 preko polja PKE s seznamom v datoteki *PedokartografskeEnote.dbf*. Datoteka *PedosistematskeEnote.dbf* vsebuje seznam talnih tipov Slovenije. PP so dostopni v datoteki *PedoloskiProfili.shp*, ki vsebuje opise lokacij pedoloških profilov na katere preko polja ZPP povežemo opise talnih horizontov iz *Horizonti_v_PedoloskihProfilih.dbf*.

Podatki onesnaženosti tal zaenkrat niso splošno dostopni. Zajem podatkov OT financira Ministrstvo za okolje in prostor in ga še vedno izvaja CPVO.

4 Talni informacijski sistem Slovenije

Talni informacijski sistem (TIS) Slovenije je neformalna zbirka podatkov tal Slovenije, ki jo sestavljajo jo PK25, PP in OT (Vrščaj 1987–1995). TIS je bil zasnovan v zgodnjih devetdesetih na CPVO kot samoiniciativna aktivnost in ni bil finančno podprt s strani pristojnih državnih institucij. V prvem obdobju so bile aktivnosti osredotočene na določitev podatkovnih struktur, digitalizacijo in predvsem na zajem podatkov. Vzpostavljeni so bili standardi in procedure vnosa podatkov ter njihove osnovne obdelave. Atributni podatki so bili kasneje iz INFO in dBASE oblike preneseni MS Access in nato na Microsoft SQL strežnik. Izdelana je bila dokumentacija in priročniki (Tič in Vrščaj 2001f; Tič in Vrščaj 2001e; Tič in Vrščaj 2001d; Tič in Vrščaj 2001c; Tič in Vrščaj 2001b; Tič in Vrščaj 2001a; Tič in Vrščaj 2002).

Razvoj in posodobitve informacijskega sistema s podatki tal Slovenije so se od leta 2005 nadaljevale na KIS, ki je kot resorna raziskovalna in strokovna institucija od MKGP pridobil PK25 in PP informacijske sloje. Vzpostavljen je bil talni informacijski sistem KIS, na Oracle 10g relacijski bazi podatkov povezani na ArcGIS 9.2. Podatke obdelujemo, nadgrajujemo in v veliki meri dopolnjujemo v številnih projektih in strokovnih nalogah. Od jeseni 2007 poteka na pobudo Kmetijske svetovalne službe vzpostavitev spletnega GIS strežnika s podatki PP in PK25 za potrebe kmetijskih svetovalcev.

Ministrstvo za okolje in prostor je leta 2008 dalo pobudo za vzpostavitev TIS v sklopu konzorcija treh nosilnih institucij, ki v največji meri pridobivajo in analizirajo podatke tal v Sloveniji: KIS, CPVO ter Gozdarski inštitut Slovenije.

5 Uporaba podatkov tal v Sloveniji v GIS okolju

Pedologi smo opisane podatke tal uporabljali od leta 1986 v različnih projektih (Vrščaj 1987–1995) za izdelavo različnih tematskih informacijskih slojev in zemljevidov v kmetijskih ali okoljevarstvenih raziskavah in strokovnih nalogah. Seznam izvedenih projektov, ki so temeljili na uporabi GIS orodij in tehnik je dolg, vendar nekateri projekti po obsegu, kompleksnosti ali načinu uporabe GIS orodij izstopajo in jih zato na tem mestu omenjamo.

V okviru projekta Nacionalni programa namakanja smo z GIS postopki analizirali primernosti tal za namakanje na predvidenih namakalnih območjih. Predvidenih 1520 namakalnih območij v skupni površini 196.072 ha smo z GIS vektorskimi tehnikami in pomočjo PK25 ocenili glede na primernosti tal za namakanje, nastalo bazo podatkov pa atributno podprli (Prus in Vrščaj 1994). Opredelili smo območja s posebnimi naravnimi omejitvami za kmetijsko pridelavo, pri čemer smo obdelali PK25 v kombinaciji z rastrskimi podatki prostora (Prus s sodelavci 2000). Tla smo vrednotili tudi za potrebe izgradnje avtocest. PK25 in PP smo vektorsko in rastrsko modelirali z ostalimi podatki prostora (Prus in Vrščaj 1997) ter izračunali površino in predvsem kakovost pozidanih tal v skladu s predpisi (GURS 1984). Izdelane so bile strokovne podlage s področja kmetijstva za dolgoročni prostorski plan Slovenije (Vrščaj 1987–1995). Kakovosti kmetijskih zemljišč smo vrednotili s rastrskimi metodami. Za vse PSE smo na podlagi analize PP opredelili kazalce kakovosti tal in jih navezali na PK25 ter pretvorili v rastrsko

obliko. V ArcInfo GRID modulu smo izdelali več različnih AML programskih rutin za modeliranje kazalcev kakovosti tal, pri čemer so pomembno vlogo igrali podatki reliefa različnih ločljivosti. Izdelani so bili rastrski informacijski sloji primernosti zemljišč za potrebe različnih vrst kmetijske rabe (Vrščaj 1987–1995). V okviru aktivnosti Evropske komisije in *European Soil Bureau* je bila na podlagi generalizacije PK25 izdelana *Soil Map of Europe* 1 : 1.000.000 – Slovenia (Vrščaj 1987–1995), ki je bila kasneje izdana v *Soil Atlas of Europe* (ESBN 2005). Z uporabo kombinacije avtomatskih GIS postopkov vektorske generalizacije in ekspertnega združevanja PKE je bila izdelana pregledna pedološka karta Slovenije 1 : 1.000.000 (Vrščaj 2007). V Sloveniji postaja suša reden pojav. Za kontrolo upravičenost zahtevkov odškodnin smo z vektorsko – rastrsko analizo ocenili občutljivosti tal za sušo, na podlagi rastrskega sloja evapotranspiracije pa izračunali vodno bilanco tal ter ocenili prizadetost posevkov v okviru posameznih občin in na kmetijskih površinah v sistemu GERK (MKGP 2007).

6 Geokodirani podatki tal Slovenije danes in v bodoče

Geokodirani podatki tal so dandanes razpršeni po različnih institucijah. Po obsegu in intenzivnosti pridobivanja prednjačijo KIS, CPVO in Gozdarski inštitut Slovenije, nekaj podatkov pa obstaja tudi na drugih organizacijah (Filozofska fakulteta v Ljubljani, Oddelek za geografijo; Filozofski fakulteta v Mariboru; ERICO v Velenju; Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo v Žalcu, če navedemo le nekatere). Značilna je razdrobljenost in v veliki meri neusklajenost podatkov. V Sloveniji ne premoremo osnovnih standardov zbiranja in obdelave podatkov tal, zato so aktivnosti v okviru pobude INSPIRE, EUSDAC na izboljšavi standarda ISO/TC190 (*Soil quality*) pomembne. Za večjo dostopnost, omilitev razpršenosti in za boljše ohranjanje podatkov je pomembna vzpostavitev spletnega portala. S tem bi bila dodatno upravičena in oplemenitena državna sredstva porabljena za pridobivanje podatkov.

Danes obdelujemo podatke tal predvsem v programske paketu ArcGIS v povezavi z Oracle bazo podatkov. Zanimiv programski produkt je tudi Saga (Medmrežje 1). V veliki meri obdelava in modeliranje podatkov tal sloni na ArcInfo, sedaj še vedno vzdrževan v ArcGIS kot Workstation modul. Ta ima zaradi hitrosti in predvsem zanesljivost procesiranja ter stabilnost ob obdelavi zelo velikih rastrskih datotek še vedno nekatere prednosti. Zadovoljive rezultate pri obdelavi podatkov tal dosežemo tudi z povezovanjem ArcGIS, učinkovitih SQL orodij (npr. Oracle 10g in Toad programski vmesnik) ter MS Office programov. Rezultati so zadovoljivi, kot primer lahko navedemo standardne izpise podatkov talnih profilov izpisanih v MS Access, pri katerih je zemljevid lokacije profila izdelan z avtomatskim ArcInfo AML postopkom, medtem ko so podatki shranjeni v Oracle. SQL jezik je v rabi kot pomembno orodje za modeliranje in izvajanje pedotransfer funkcij.

Ugotovimo lahko, da Slovenija premore kakovostne baze podatkov tal na državnem in regijskem nivoju. Varovanje okolja, prilagajanje in usmerjanje kmetijske pridelave v trajnostne postopke, varovanje naravnih virov in mnoge druge aktivnosti izvajamo na krajevnem nivoju, ponavadi v merilu 1 : 10.000 ali natančnejšem. V te namene je treba izboljšati pedološke podatke, tako v smislu merila in večje natančnosti kakor tudi v vsebinskem smislu z opredelitvijo novih lastnosti tal. Za to je treba razviti nove/prilagojene *pedotransfer* funkcije na podlagi arhivskih podatkov in novih meritev. Potrebne aktivnosti na tem področju so že bile predstavljene (Vrščaj 1987–1995).

Problem ni samo slovenski. Osnovno pedološko kartiranje je bilo v različnih merilih opravljeno v večini razvitih držav (Jones s sodelavci 2005). Podobne potrebe po izboljšanih pedoloških podatkih so prisotne povsod v svetu. Dolgotrajen in drag postopek terenskega pedološkega kartiranja poskušamo nadomestiti z učinkovitejšimi pristopi in modeliranjem novih in detajlnejših GIS podatkov pedogenetskih faktorjev (Vrščaj 2007b, 2007c). Zato potekajo na področju informatike tal intenzivne raziskovalne aktivnosti in razvoj modernih GIS metod za izboljšavo podatkov tal (Heuvelink in Pebesma 1999; Bishop s sodelavci 2001; Carre in Girard 2002; Hengl in Rossiter 2003; Daroussin s sodelavci 2004). Aktivnosti v tej smeri financira tudi Evropska komisija (Dobos s sodelavci 2006). V Sloveniji

smo z razvojem naprednih metod digitalne kartografije tal pričeli v okviru FP5 raziskovalnega projekta SPIN (Bock s sodelavci 2005; Langanke s sodelavci 2005), v okviru raziskovalnih projektov na KIS. Sodobne metode uvajajo tudi na drugih institucijah (Repe 2006).

7 Sklep

Tla so del okolja. V splošni javnosti, pa tudi v izobraževanih sistemih, je zavest o pomembnosti tal za preživetje človeka in funkcioniranje kopenskih ekosistemov še premalo prisotna. Tla so naravno telo, ki niso samo podlaga za pridelavo hrane, pač pa izvajajo mnoge bistvene okoljske funkcije povezane s kroženjem snovi in energije. Zato so dobri, detajlni in dostopni geokodirani podatki tal nujne informacijske vsebine, na podlagi katerih države usmerjajo svoj razvoj, prilagajajo kmetijstvo vzdržni pridelavi in izvajajo okoljevarstvene aktivnosti. Bolj kakovostne GIS baze podatkov tal bodo v bodoče nujne za izvajanje Strategije varovanja tal v Evropi in tudi v Sloveniji (European 2002; European 2006a; European 2006b). Glede na to ocenjujemo, da prava doba pedološke geoinformatike šele prihaja.

8 Viri in literatura

Bishop, T. F. A., McBratney, A. B., Whelan, B. M., 2001: Measuring the quality of digital soil maps using information criteria. Geoderma 103. Amsterdam.

Bock, M., Bock M., Rossner G., Wiesen M., Remm K., Langanke T., Lang S., Klug H., Blaschke T., Vršč aj B., 2005: Spatial indicators for nature conservation from European to local scale. Ecological Indicators 5. Amsterdam.

Carre, F., Girard, M. C. 2002: Quantitative mapping of soil types based on regression krigging of taxonomic distances with landform and cover attributes. Geoderma 110. Amsterdam.

Daroussin, J. King D. Le Bas C., Vrščaj B., Dobos E., Montanarella L. 2004: The soil geographical database of Eurasia at scale 1 : 1,000,000: history and perspective in digital soil mapping. Digital soil mapping: an introductory perspective, Developments in soil science 31. Amsterdam, Boston

Dobos, E., Carre, F., Hengl, T., Reuter, H., Toth, G. 2006: Digital Soil mapping as support to production of functional maps, European Commission, Joint Research Centre, European Soil Bureau, Digital Soil Mapping Working Group (DSMWG). Ispra.

ESBN 2005: Soil Atlas of Europe. Ispra.

European Commission 2002: Towards a Thematic Strategy for Soil Protection, Communication from the commission to the council, the European Parliament, the Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. European Comission. Brussels.

European Commission 2006a: Proposal for a directive of the European parliament and the Council establishing a framework for the protection of soil and amending Directive 2004/35/EC. (Presented by the Commission). COM(2006) 232 final. Commission of the European Communities. Brussels.

European Commission 2006b: Thematic Strategy for Soil Protection. Communication from the Commission to the Council, the European parliament, the European economic and social committee and the Committee of the regions. COM(2006) 231 final. Commission of the European Communities. Brussels.

GURS 1984: Pravilnik za ocenjevanje tal pri ugotavljanju proizvodne sposobnosti vzorčnih parcel. Obvezno navodilo za izvajanje pravilnika za ocenjevanje tal pri ugotavljanju proizvodne sposobnosti vzorčnih parcel. Geodetska Uprava Republike Slovenije. Ljubljana.

GZS 1989: Plot.exe. Program za pozicijsko nastavitev HPGL peresnih risalnikov za natančno ujemanje izrisanih vsebin. Geodetski zavod Slovenije. Ljubljana.

Hengl, T., Rossiter, D. 2003: Supervised Landform Classification to Enhance and Replace Photo-Interpretation in Semi-Detailed Soil Survey. Soil Science Society of America Journal 67. Madison.

Heuvelink, G. B. M., Pebesma, E. J. 1999: Spatial aggregation and soil process modelling. Geoderma 89. Amsterdam.

Jones, R. J. A., Houškova, B., Bullock P., Montanarella L. (ur.) 2005: Soil Resources of Europe. Ispra.

Langanke, T., Rossner G., Vrščaj B., Lang S., Mitchley J. 2005: Selection and application of spatial indicators for nature conservation at different institutional levels. Journal for Nature Conservation 13, 2–3. Jena.

Medmrežje 1: http://www.saga-gis.uni-goettingen.de/html/index.php. (15. 1. 2008)

MKGP 2007: Grafične enote kmetijske rabe 1 : 5000. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Ljubljana.

Pedološka društva Jugoslavije 1978: Pedološki informacioni sistem Jugoslavije. Kodni sistem. Sarajevo.

Prus, T., Vrščaj B., Rupreht J., Šporar M., Lobnik F., Tič I. 2000: Opredelitev območij s posebnimi naravnimi omejitvami za kmetijsko dejavnost. Center za pedologijo in varstvo okolja, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.

Prus, T., Vrščaj, B. 1994: Application of soil information system in the national project of irigation in Slovenia, European Conference on Geographical Information Systems. Genova.

Prus, T., Vrščaj, B. 1997: Use of soil information system in the environmental impact assessment of highway construction in Slovenia, Joint European Conference on Geographical Information. Ohmsha, Vienna.

Repe, B. 2006: Pedogeografska karta in njena uporabnost v geografiji. Doktorska disertacija, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.

Selner, G. I., Taylor, R. B., 1986: GSDRAW and GSMAP version 3.0, United States Geological Survey. Denver.

Selner, G. I., Taylor, R. B., 1987: GSDRAW and GSMAP version 4.0. United States Geological Survey. Denver.

Soil Survey Staf 1979: PEDON Coding System for the National Cooperative Soil Survey, Soil Conservation Service. United States Department of Agriculture. Washington.

Tič, I., Vrščaj, B. 2001a: MS ACCESS; tehnična dokumentacija o bazah podatkov na MS SQL strežniku PedonSQL. Center za pedologijo in varstvo okolja, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.

Tič, I., Vrščaj, B. 2001b: Talni Informacijski Sistem Slovenije – TIS. MS ACCESS – PEDOLOŠKI PROFILI (PP). Tehnična dokumentacija o bazi podatkov pedoloških profilov (PP) na MS SQL strežniku »PedonSQL«. Center za pedologijo in varstvo okolja, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.

Tič, I., Vrščaj, B. 2001c: Talni Informacijski Sistem Slovenije – TIS. MS ACCESS – PKE. Tehnična dokumentacija o bazi podatkov pedokartografskih in pedosistematskih enot (PKE) na MS SQL strežniku »PedonSQL«. Center za pedologijo in varstvo okolja, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.

Tič, I., Vrščaj, B. 2001d: Talni Informacijski Sistem Slovenije – TIS. Priročnik za uporabo podatkov na MS SQL strežniku »PedonSQL«. Center za pedologijo in varstvo okolja, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.

Tič, I., Vrščaj, B. 2001e: Tehnična dokumentacija o bazah podatkov analitskega laboratorija na MS SQL strežniku PedonSQL. Center za pedologijo in varstvo okolja, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.

Tič, I., Vrščaj, B. 2001f: Tehnična dokumentacija o bazah podatkov OT na MS SQL strežniku PedonSQL. Center za pedologijo in varstvo okolja, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.

Tič, I., Vrščaj, B. 2002: Talni Informacijski Sistem Slovenije – TIS. SQL tehnična dokumentacija. Tehnična dokumentacija o bazah podatkov na MS SQL strežniku »PedonSQL«. Center za pedologijo in varstvo okolja, Biotehiška fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.

Vrščaj B., Prus T. 1994a: Plotting directly on the topographic maps: map production technique. EGIS/MARI '94: conference proceedings. Utrecht.

Vrščaj B., Prus T. 1994b: Soil Information System (SIS/TIS) in Slovenia, EGIS/MARI '94. Utrecht.

Vrščaj B., Zupan M., Lobnik F. 1990: Računalniška obdelava podatkov v projektu tematska karta onesnaženosti zemljišč Celjske občine. Zbornik Biotehnične fakultete Univerze Edvarda Kardelja Ljublani. Ljubljana.

Vrščaj, B. 1987–1995: Profili.exe računalniški program za obdelavo podatkov talnih profilov. Katedra za pedologijo in varstvo okolja, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.

Vrščaj, B. 2007a: Okolje na Dlani. 4 – Tla. Korak naprej v ravnanju z okoljem. Ljubljana.

Vrščaj B., Daroussin J., Montanarella L. 2007b: SRTM as a possible source of elevation information for soil-landscape modelling. Digital terrain modelling: development and applications in a policy support environment, (Lecture notes in geoinformation and cartography). Berlin, New York.

Vrščaj B. 2007c: Towards soil information for local scale soil protection in Slovenia. Status and prospect of soil information in south-eastern Europe: soil databases, projects and applications. Luxembourg: European Communities, Ispra.

UGOTAVLJANJE RAZPROSTRANJENOSTI TIPOV PRSTI V POKRAJINI Z UPORABO KLASIFIKACIJSKIH METOD DALJINSKEGA ZAZNAVANJA

dr. Blaž Repe
Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani
blazrepe@yahoo.com

UDK: 911.2:631.4
COBISS: 1.16

IZVLEČEK

Ugotavljanje razprostranjenosti tipov prsti v pokrajini z uporabo klasifikacijskih metod daljinskega zaznavanja

Raziskavo smo zasnovali na uveljavljenem genetskem pristopu preučevanja prsti v pokrajini. S tem smo prevzeli vodilo, da je za nastanek in razvoj prsti ter njihove lastnosti in razporeditev v pokrajini odgovorno delovanje pedogenetskih dejavnikov. Na podlagi digitalnih slojev, ki predstavljajo posamezne pedogenetske dejavnike, smo v rastrskem načinu želeli izdelati prikaz razprostranjenosti prsti v pokrajini. Pedogenetske dejavnike smo razvrščali in uvrščali v homogene enote, ki predstavljajo posamezne tipe slovenske klasifikacije prsti. Uporabili smo metode nadzorovanih in nenadzorovanih klasifikacij podatkov, ki smo si jih sposodili iz daljinskega zaznavanja. Končen rezultat smo primerjali in vrednotili z obstoječo, digitalno pedološko karto 1 : 25.000.

KLJUČNE BESEDE

pedogeografija, pedogenetski dejavniki, GIS, nenadzorovane klasifikacije podatkov, nadzorovane klasifikacije podatkov, zemljevidi prsti

ABSTRACT

Soil type extent determination using remote sensing classification methods

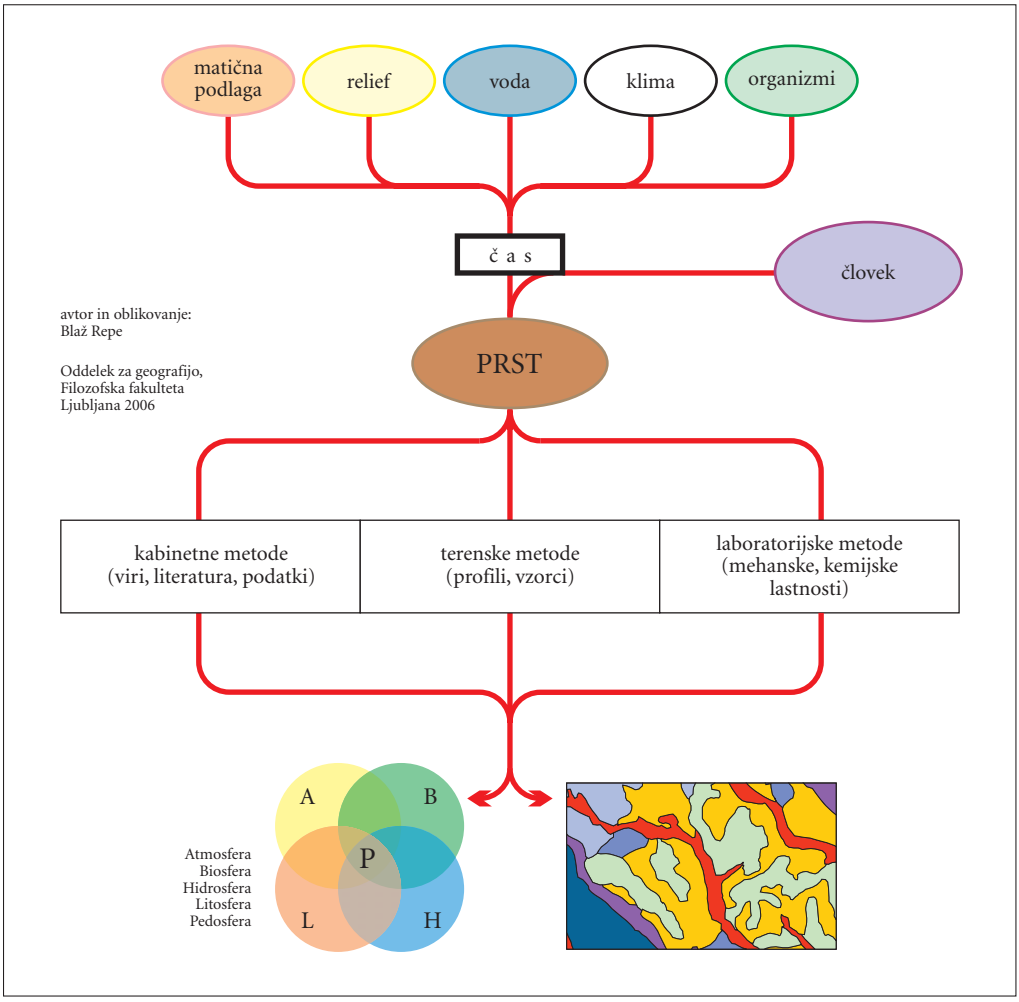
For the soil research in Slovenia common and acknowledged genetic approach had been used. That automatically meant adoption of a guideline that for the formation and development of soils, their properties and extent in a landscape, factors of soil formation are responsible. Using raster layers of digital data representing factors of soil formation, we tried to produce a map of genetic soil types. We were spatially sorting and placing factors of soil formation into homogeneous units of genetic types of Slovene soil classification. Unsupervised and supervised classification methods had been applied for spatial sorting and placing of digital data. We compared and evaluated the final result to existing digital soil map of Slovenia 1 : 25,000.

KEY WORDS

soil geography, factors of soil formation, GIS, unsupervised classification of data, supervised classification of data, soil maps

1 Uvod

Prispevek se ukvarja s problemom kartografskih prikazov prsti v geografskem preučevanju. Skušali smo poiskati odgovor o načinu uporabe geografskega znanja o pokrajini in prsteh pri izdelavi zemljevidov prsti. V dosedanjih geografskih raziskavah smo namreč uporabljali in se naslanjali izključno na izsledke sorodnih strok, predvsem pedologije. Raziskava je zasnovana na genetskem pristopu (Jenny 1941; Stritar 1991; Lovrenčak 1994), kjer predpostavljamo, da so nastanek in razvoj prsti ter njihove lastnosti in razporeditev v pokrajini posledica delovanja pedogenetskih (tlotvornih) dejavnikov. Na podlagi študija pedogenetskih dejavnikov, ki so zaobjeti in prikazani v virih in literaturi, različnih bazah podatkov in kartografskih gradivih ter seveda na podlagi terenskega dela, bomo skušali prepoznati skupine prsti, ki so nastale na preučevanem območju. Samo tehnično plat prepoznavanja skupin prsti in njihove razporeditve v pokrajini nam omogoča analiza pedogenetskih dejavnikov znotraj geografskih informacijskih sistemov.



Slika 1: Preučevanje prsti v pokrajini.

V nasprotju s tehničnim pristopom (npr. IUSS 2006), ki omogoča precej lažje prostorsko in statistično modeliranje lastnosti prsti ter s tem prepoznavanje njihove razprostranjenosti, smo se za genetskega odločili iz dveh temeljnih razlogov:

- primerljivost naših rezultatov s slovensko klasifikacijo prsti, ki je zasnovana na principu pedogenetskih dejavnikov (Lovrenčak 1994; Seznam 1995; Prus 2000);
- genetski pristop preučevanja prsti je izrazito geografski (Lovrenčak 1981a; 1981b; 1984; 1987; 1990; 1991).

2 Metode dela in območje preučevanja

Ne glede na vsa sodobna računalniška orodja in digitalno tehnologijo predstavlja temelj geografovega dela še vedno terensko delo. Preučevanje prsti pri tem ni izjema. Zbiranje podatkov in informacij o pokrajini neposredno v sami pokrajini je osnovni pogoj za uspešno geografsko raziskovalno delo (Vovk Korže in Lovrenčak 2004).

Uporaba računalnika, statističnih analiz ter modeliranje znotraj geografskih informacijskih sistemov v nobenem primeru ne morejo popolnoma nadomestiti terenskega dela. Vendar pa nam sodobne metode v marsičem terensko delo olajšajo ter ga obenem časovno in finančno racionalizirajo. Večina potrebnih podatkovnih slojev ni bila voljo, zato jih je bilo treba izdelati s pomočjo osnovnih pretvorb (na primer iz naklonov, ekspozicij, gostota rečne mreže itd.). Prvi vpogled v prostorske zakonitosti pedogenetskih dejavnikov smo dobili z nenadzorovano klasifikacijo slojev podatkov geografskega informacijskega sistema. Multivariatno razvrščanje v skupine (cluster analiza) je pokazalo prve grobe podobe razprostranjenosti prsti na preučevanjem območju in omogočilo pripravo na terensko delo, izdelavo načrta vzorčenja in izbor števila terenskih meritev. Na v naprej določenih lokacijah smo preučili pedogenetske dejavnike. Na podlagi terenskih opazovanj in meritev smo izdelali učna območja in podpise (signature), ki so služili za nadzorovane klasifikacije pedogenetskih dejavnikov. Z uporabo multivariatnega uvrščanja v skupine (diskriminančna analiza in *maximum likelihood* postopek klasifikacije) predpostavljamo, da podobna kombinacija pedogenetskih dejavnikov na določeni točki vodi v nastanek podobnih skupin prsti (Repe 2006).

Za glavno območje preučevanja smo si izbrali tisto slovensko pokrajino, v kateri je mogoče najti čim večjo pestrost njenih pokrajinskih elementov. Ker celotne palete pestrosti nikakor ne bo mogoče zagotoviti, smo se skušali temu čimbolj približati oziroma zagotoviti pestrost najpomembnejših pedogenetskih dejavnikov. Med te na prvo mesto uvrščamo matično podlago (velika litološka pestrost), sledijo relief (ravnina/vzpeto površje, pestrost naklonov in ekspozicij, starost reliefa) in vode (normalna rečna mreža in kraško površje) ter raba tal, kjer se zrcali vegetacija in seveda vpliv človeka (pestrost naravne vegetacije in antropogene rabe tal). Na koncu smo se odločili za pokrajinsko enoto, ki zajema Polhograjsko hribovje z bližnjo okolico, kamor smo usmerili poglavitno pozornost našega preučevanja.

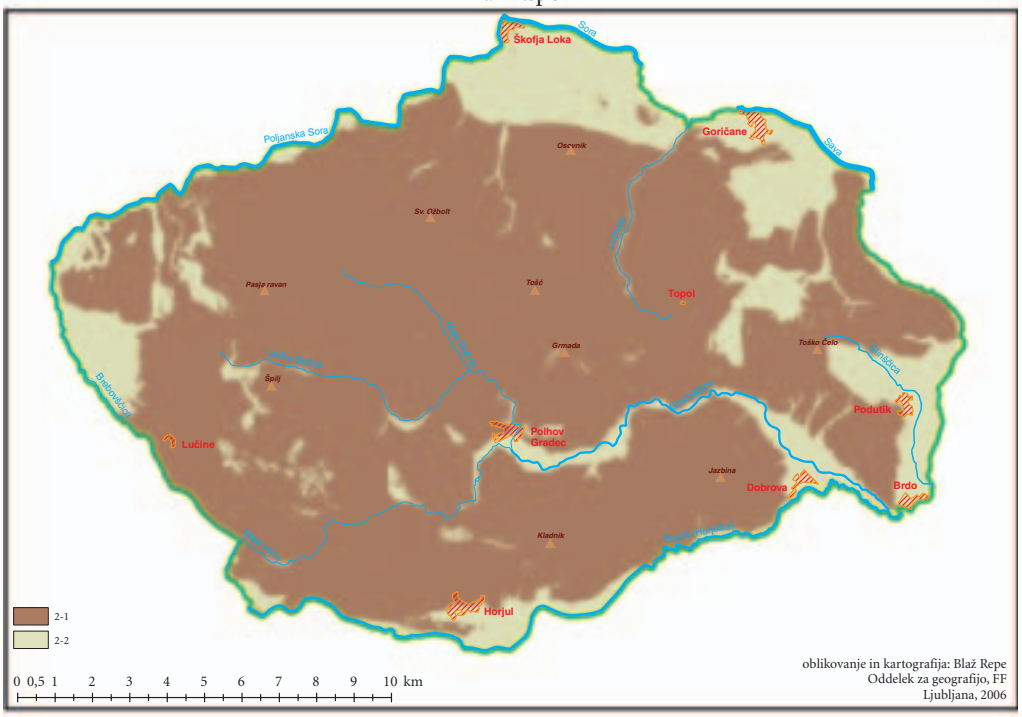
3 Pedogenetski dejavniki in njihovo nenadzorovano razvrščanje v skupine

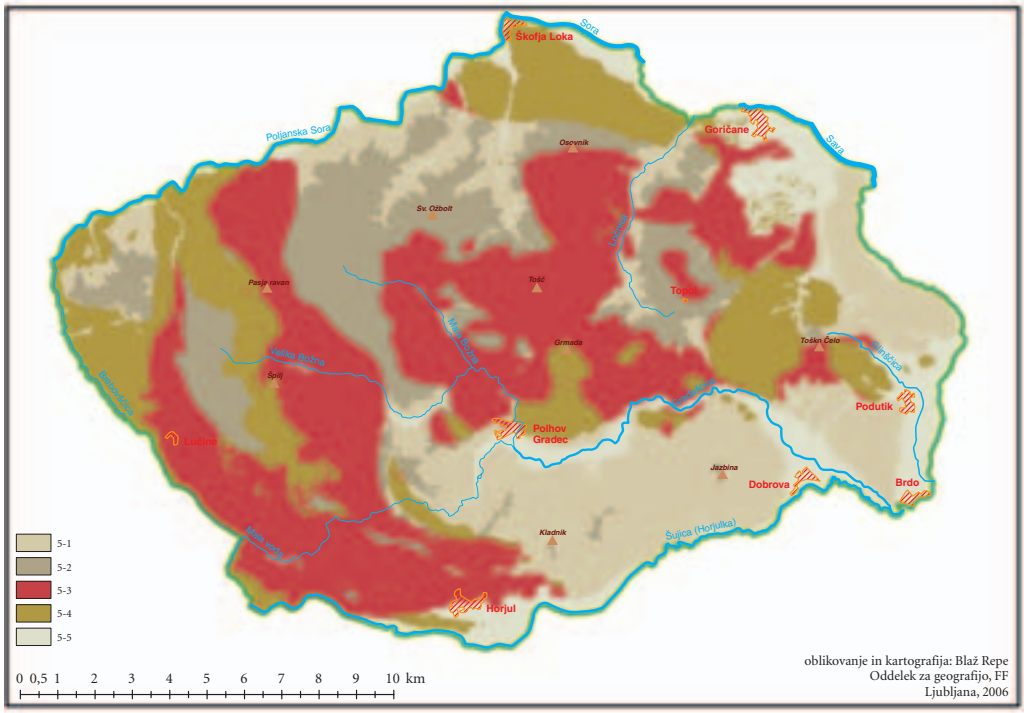
Vse, kar vpliva na nastanek, razvoj in lastnosti prsti ter istočasno na njihovo razširjenost, lahko strnemo pod pojmom pedogenetski (tlotvorni) dejavniki. Z vidika sistemske teorije so to dejavniki okolja oz. geografskega okolja, pokrajine, ki delujejo na preučevani podsistem, to je na prst (Lovrenčak 1994).

Do takšnih zaključkov se je dokopal že Dokučajev (Dokučajev; po Stritar 1991), temelje pa postavi Jenny leta 1941, ko je vpliv pedogenetskih faktorjev na nastanek in razvoj prsti zapisal v obliki matematične formule:

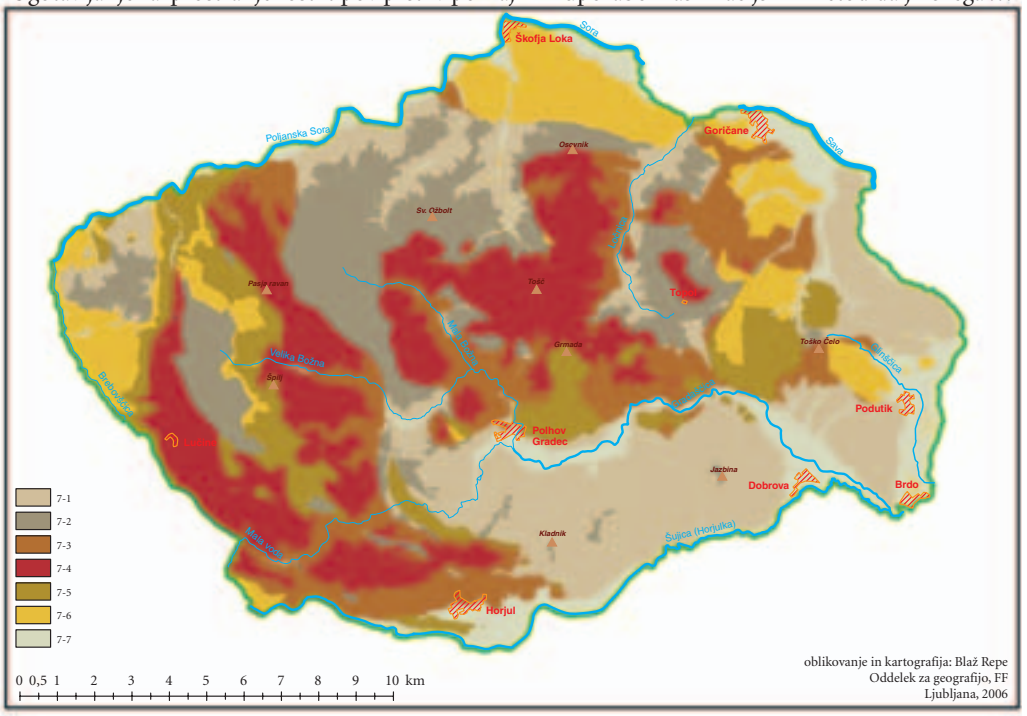
$$S = f\,(cl, o, r, p, t)$$

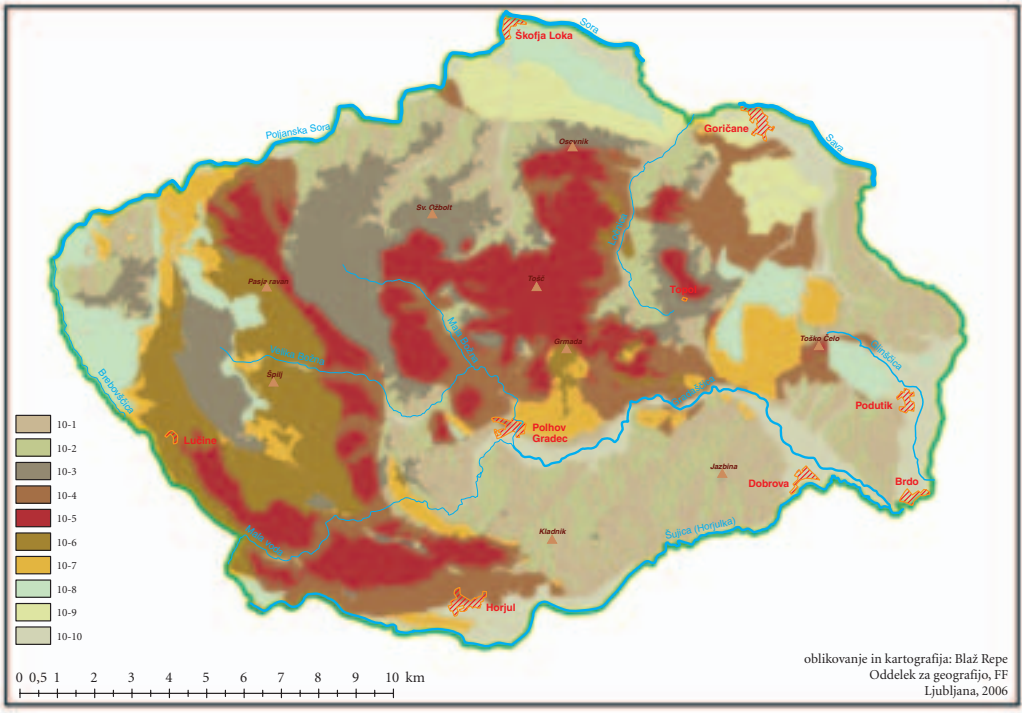
kjer je prst (*soil*) funkcija (*function*) pedogenetskih dejavnikov: podnebja (*climate*) živega sveta (*organisms*), površja (*relief*), matične podlage (*parent material*) in časa (*time*).





Slika 2: Izbrani rezultati razvrščanja pedogenetskih dejavnikov z ISO cluster metodo glede na izbrano





število končnih skupin.

Za slovenske razmere pa tako nabor kakor tudi razporeditev dejavnikov ni ustrezna oziroma je premalo podrobna. Stritar (1991) je formulo priredil za slovenske razmere in jo poznamo kot Stritarjevo formulo (Prus 2000):

$$T = f\,(G, V, R, K, O, Č)\ t$$

Razvoj in lastnosti tal/prsti so odvisne od geolitološke osnove (matične podlage), vodnih razmer, reliefa, klime, organizmov, človeka in časa (t) (slika 1). Vsaka prst, njene lastnosti in procesi, ki potekajo v njej, so rezultat vzajemnega delovanja vseh teh dejavnikov. Lokalno pogosto nek dejavnik prevlada nad ostalimi, vpliv nekaterih pa je komaj čutiti (Repe 2004).

Skušali smo pridobiti vse tiste digitalne sloje podatkov, s katerimi bi zadovoljivo predstavljati in opredeliti pedogenetske dejavnike. Zbrali smo vse razpoložljivi digitalno, tiskano in rokopisno gradivo (splošne topografske karte, geološke, geomorfološke, vegetacijske, hidrološke, klimatske, pedološke karte itd.). Najprimernejši za nadaljnjo obdelavo in analizo so bili že v digitalni obliki (digitalni model nadmorskih višin, rečna mreža, letalski posnetki, digitalni ortofoto posnetki, satelitski posnetki itd.). Tiskano ali rokopisno kartografsko gradivo (geološke karte, vegetacijske karte itd.) zahteva dolgotrajen postopek digitalizacije oziroma pretvarjanje analognih podatkov v digitalne. Takšni viri so pogosto tudi precej zastareli, kar pomeni, da jih je treba posodabljati, da jih lahko koristno uporabimo.

Glede na pedogenetske dejavnike smo zbrali naslednje sloje podatkov:

- matična podlaga: osnovna geološka karta 1 : 25.000 (Osnovna … 1968);
- relief: digitalni model nadmorskih višin 25 × 25 (Digitalni … 2002) in iz njega izdelani zemljevidi naklonov, ekspozicij, in ukrivljenost površja;
- vodne razmere: gostota rečne mreže in oddaljenost od vodotokov ter reliefni indeks vlažnosti (Repe 2006), izračunan iz digitalnega modela nadmorskih višin;
- mikropodnebje: nadmorske višine, ekspozicije in energija kvaziglobalnega sončnega obsevanja (Gabrovec 2006) (na tako majhnem območju imajo makro- in mezopodnebne razmere kot pedogenetski dejavnik minimalen vpliv, pa tudi mreža meteoroloških postaj je redka);
- organizmi: vegetacijske karte 1 : 50.000 (Zupančič s sod. 1972);
- človek: raba tal (Pokrovnost … 2002);
- čas: absoluten čas pedogeneze je za vse prsti preučevanega območja enak, relativen razvoj pa predstavljata sloja litološke podlage in naklonov.

Sorazmerno homogene regije, kjer prevladujejo enotni pedogenetski dejavniki, smo dobiti s statističnim postopkom nenadzorovanega razvrščanja v skupine (ISOcluster analiza). Prednost nenadzorovane klasifikacije je, da pred samim postopkom ne potrebujemo nikakršnega vedenja o pokrajini, ki jo preučujemo. To je obenem tudi slabost, saj je končni rezultat zahteven za interpretacijo. Postopek je sestavljen iz same klasifikacije in končnega prepoznavanja razredov (Oštir 2005).

Pri nenadzorovanih klasifikacijah iščemo »naravne« skupine (*clustre*), ki se pojavljajo v populaciji glede na izbrane spremenljivke. Klasifikacija je nenadzorovana, ker razen z izborom števila skupin ne moremo vplivati na razvrščanje. Klasifikacija je prostorsko neodvisna in sosednje enote ne vplivajo druga na drugo (Campbell 2002). Pri razvrščanju enot v skupine (tipe prsti) glede na pedogenetske dejavnike simuliramo izkustveni postopek, ki ga sicer miselno opravimo, ko razmejujemo skupine prsti na kartografski podlagi. Prednosti digitalnega razvrščanja so hitrost, nepristranskost, natančnost (kolikor so natančni vhodni podatki) in sposobnost iskanja podobnosti med skoraj poljubnim številom dejavnikov. Interpretacija dobljenih skupin poteka na podlagi statistične analize posameznih spremenljivk znotraj skupine in/ali v kombinaciji s terenskimi opazovanji. Pri tem postopku predpostavljamo, da so na podobne skupine prsti vplivali isti dejavniki podobno ali enako močno. Klasifikacija izločiti naravna območja, kjer bi morale biti glede na vhodne podatke skupine prsti sorazmerno homogene (slika 2).

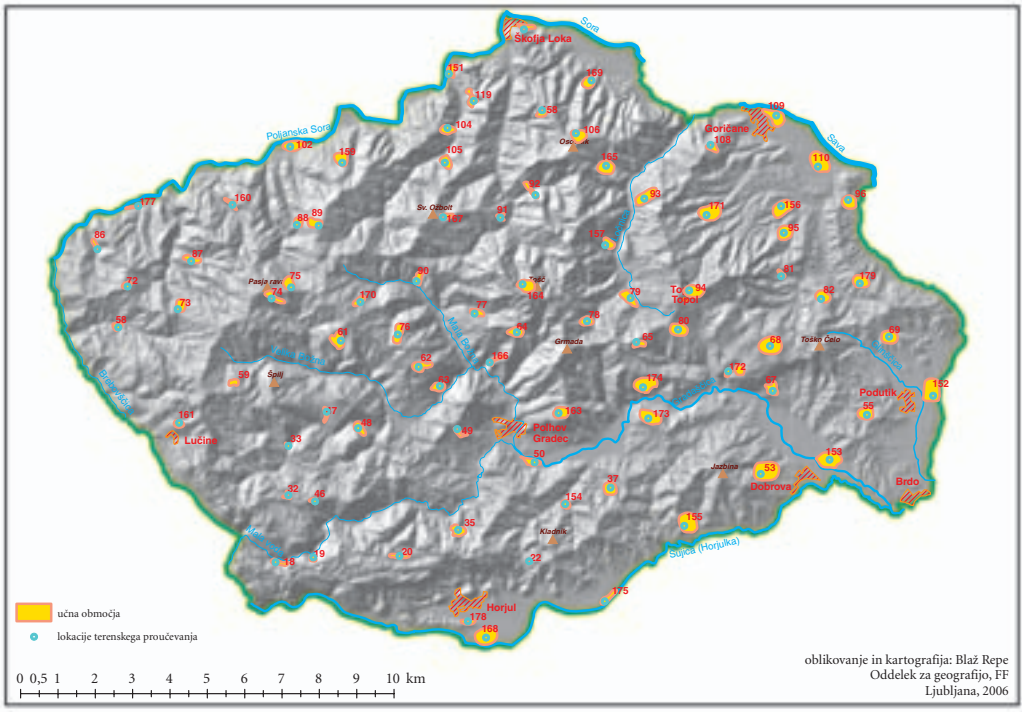
4 Terensko delo in nadzorovano uvrščanje v skupine

Statistično modeliranje ne more v celoti zajeti pestrosti skupin prsti, ki se pojavljajo v pokrajini. Interakcije med pedogenetskimi dejavniki so veliko prezapletene, da bi jih v celoti opisali z matematičnimi funkcijami. Zato je nujno rezultate analiz z geografskimi informacijskimi sistemi preveriti, dopolniti, obogatiti in osmisliti z opazovanji na terenu.

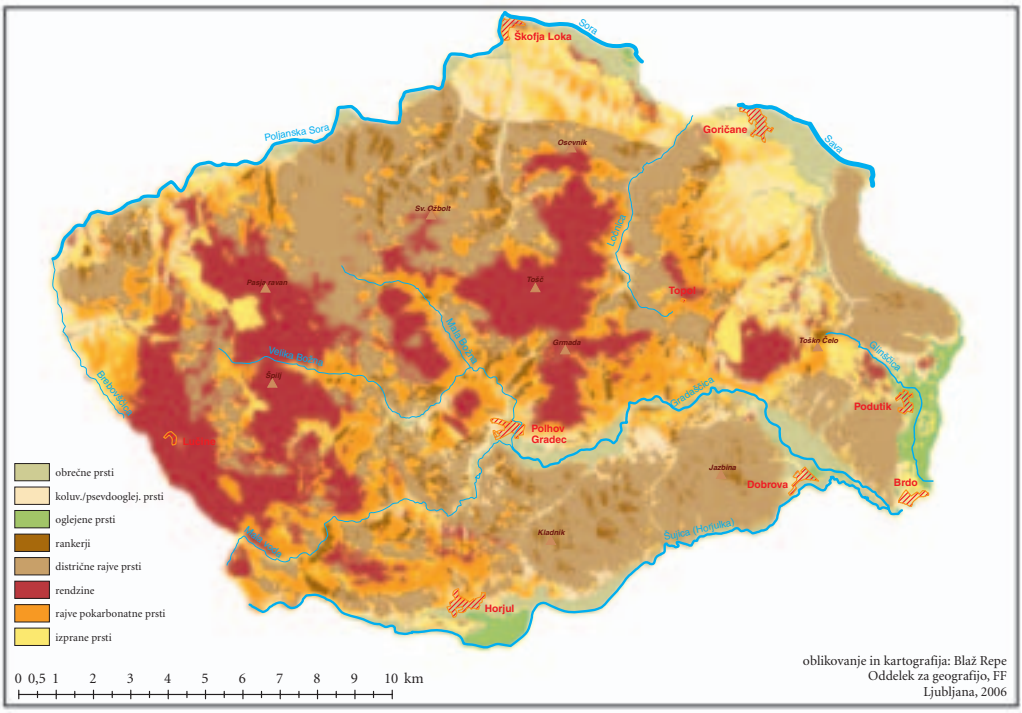
Na ta način bomo s terenskimi izkušnjami veliko lažje poiskali povezave med naravnimi dejavniki, prstjo in položajem v pokrajini.

Na podlagi homogenih skupin smo izdelali načrt naključnega vzorčenja (Bridges in Davidson 1982; Soil … 1993; McCoy 2005). Število naključnih lokacij smo izbrali tako, da je bilo znotraj vsake prepoznane skupine najmanj 8 vzorčnih mest. Dvanajst smo jih izločili, ker so sovpadli z rabo tal, oz. vzorčenje ni bilo mogoče (pozidano, infrastruktura, vodne površine itd.), kar je na koncu privedlo do 83 lokacij (slika 3). Na izbranih lokacijah smo preučili vse parametre, ki jih zahtevajo standardi (Soil … 1993; Lovrenčak 1994; SOTER, 1995; Vrščaj 1996; Prus 2000; Vovk Korže in Lovrenčak 2001; Zupan s sodelavci 2001; Vovk Korže in Lovrenčak 2004).

Za končni prikaz razprostranjenosti smo uporabili multivariatne metode uvrščanja v skupine. Podobno kot razvrščanje v skupine, smo si tudi metode uvrščanja prisvojili iz metodologije trdih klasifikacij satelitskih posnetkov (*hard classifiers*). V primeru trdih klasifikacij vsaki celici enoznačno pripišemo razred. Pri nadzorovanih klasifikacijah skušamo enote uvrstiti v enega izmed znanih razredov, ki smo jih vnaprej določili sami. Postopek poteka na podlagi učenja postopka. S poznavanjem preučenega pojava (prsti) in pokrajine smo na terenu opredelili t. i. učna območja. Z njimi postopek uvrščanja »naučimo«, kaj pomeni določena kombinacija pedogenetskih dejavnikov na izbrani lokaciji.



Slika 3: Lokacije terenskega preučevanja prsti skupaj z učnimi območji na širšem območju Polhograjskega hribovja.



Slika 4: Karta osnovnih tipov prsti preučevanega območja.

Učna območja morajo biti po površini (vsebnosti celic) kar se da velika (reprezentativnost podpisov) in obenem kar najbolj homogena, da ne prihaja do prekrivanja podobnosti. Na podlagi celic znotraj vsakega tipa učnega območja postopek izdela podpise (*signature*). Ti podpisi predstavljajo izračunane opisne statistike za sloje, na podlagi katerih uvrščamo v vnaprej znane skupine (Lillesand in Kiefer 1994).

Na terenu smo na izbranih lokacijah preučili in ugotovili lastnosti prsti. Za prsti v določeni razdalji od izkopanega in opisanega profila smemo predpostaviti, da pripadajo istemu tipu. Prsti se naj na teh razdaljah ne bi bistveno spremenile, če pedogenetski dejavniki ostajajo enaki ali podobni tistim na naši preučeni lokaciji. Z vidika prsti predvidevamo, da je območje okoli profila sorazmerno homogeno in zato nam celice znotraj tega območja smejo služiti za učno območje. S tem smo opredelili pedogenetske dejavnike, ki so vplivali na nastanek te skupine. Povedano drugače; ista skupina prsti na drugi lokaciji bo imela zelo verjetno podobne, če ne celo enake dejavnike, ki so pogojevali njen nastanek. Z gledišča genetskega pristopa smemo zaključiti, da bo podobna kombinacija pedogenetskih dejavnikov privedla do podobne skupine prsti. Ker so pedogenetski dejavniki raznoliki in se njihovi vplivi zrcalijo v različnih pedogenetskih procesih, moramo prsti preučiti na čim več mestih, da proces uvrščanja dobro »naučimo« (idealno bi bilo preučiti prsti na vseh mestih). Upoštevati moramo dejstvo, da ob določeni kombinaciji dejavnikov ne bo nastala prst, ki jo pričakujemo. Navzven se to odraža kot naključje, dejansko pa predstavlja naše pomanjkljivo poznavanje pedogenetskih dejavnikov in s tem procesov. Z več preučenimi lokacijami lažje in bolje razložimo postopek klasifikacije, kvalitetnejši pa bo končni rezultat tudi tam, kjer rezultata ni mogoče razložiti z razpoložljivimi podatki. Za nadzorovano klasifikacijo podatkov smo na koncu uporabili metodo največje verjetnosti (*maximum likelihoood* – MAXLIKE) (slika 4).

Preglednica 1: Vrednosti parametrov simulacije.

skupina prsti	površina (ha)	skupina prsti	površina (ha)
obrečne prsti	1606,88	distrične rjave prsti	8509,56
koluvialne/psevdooglejene prsti	2712,94	rendzine	4812,38
oglejene prsti	487,625	rjave pokarbonatne prsti	4762,69
rankerji	1036,88	izprane prsti	2342,19

5 Vrednotenje pridobljenih rezultatov

Vrednost rezultatov in zemljevida prsti lahko ocenimo le, če ga primerjamo in ovrednotimo z obstoječimi in veljavnimi podatkih o prsteh Slovenije; to je z digitalno pedološko karto Slovenije 1 : 25.000 (Pedološka … 2006). Primerjava pedološke karte in našega zemljevida razprostranjenosti prsti razkrije marsikatere podobnosti, pa tudi razlike.

Preglednica 2: Primerjava pedološke karte 1 : 25.000 in zemljevida prsti preučevanega območja (v hektarih).

		karta prsti							
		obrečne	koluvialne	oglejene	rankerji	distrične rjave	rendzine	rjave pokarbonatne	izprane
P	nerazvita, obrečna	61,3	3,0	12,5	0,0	0,0	0,3	0,0	0,9
K	obrečna	854,9	215,6	24,7	3,3	65,6	6,4	21,6	60,6
2	oglejena	139,9	31,1	296,3	0,0	3,7	1,9	0,9	9,8
5	psevdooglejena	177,0	179,7	43,7	5,6	42,6	2,1	14,5	53,8
	distrična	63,0	992,4	23,6	733,9	7089,0	480,3	1469,6	676,0
	evtrična	158,9	121,6	0,3	25,6	259,8	208,9	249,3	173,6
	rendzina	5,7	440,1	0,4	246,3	821,4	3136,9	2193,8	382,4
	rjava pokarbonatna	23,6	498,5	3,1	22,2	217,1	973,1	809,8	831,2
	izprana	3,1	160,3	1,5	0,1	1,3	0,0	2,8	137,3
	urbane površine	119,5	59,4	68,8	0,0	4,9	0,5	0,3	12,2
	ostalo	0,0	11,3	12,8	0,0	4,1	2,0	0,1	4,6

Podobnosti med obema zemljevidoma so mnogo večje od razlik. Najbolje se ujemajo oglejene, distrične rjave prsti in rendzine. Razlogi za ujemanje so posledica jasnih, edinstvenih in lahko opredeljivih pedogenetskih dejavnikov, ki pogojujejo nastanek prsti. Bolj problematična so razhajanja.

Skupine prsti, ki jih ima naš zemljevid prsti, smo primerjali z enotami poenostavljene pedološke karte 1 : 25.000. Razlike med obema zemljevidoma lahko razdelimo na tehnične in vsebinske. Med tehnične prištevamo tiste razlike, ki so posledica različnih postopkov, uporabljenih za izdelavo zemljevida. Takšnim razhajanjem se ne moremo, niti se jim nismo želeli izogniti, saj naš namen ni bil izdelati nove pedološke karte. Vsebinske razlike so posledica drugačne zasnove izdelave našega zemljevida prsti. Zemljevid prsti v pokrajini temelji na terenskih preučevanjih in ima toliko končnih skupin, kolikor smo jih prepoznali na terenu. Končni rezultat smo dobili izključno na podlagi terensko prepoznanih skupin in statističnega modeliranja podatkov. Zato marsikatere skupine, ki se nahaja na digitalni pedološki karti, naš zemljevid sploh nima (npr. šotne prsti).

Glavna tehnična razlika, ki precej prispeva k razlikam med obema slojema, je način, kako sta bili obe karti pridobljeni. Postopke izdelave digitalne pedološke karte je podrobno opisal Vrščaj (1996). Digitalna pedološka karta ima izrazito vektorski značaj, kjer so prikazane kartografske enote diskretno ločene med seboj. Meja med dvema kartografskima enotama je merilu primerno generalizirana. Najmanjše enote, ki se pojavljajo na digitalni pedološki karti, imajo površino okoli 30.000 m^2. Zemljevid prsti je v osnovi rastrski zemljevid, z natančnostjo 625 m^2. Vsaka izmed 420.000 celic je enota zase s svojimi pedogenetskimi dejavniki in smo zato s postopkom klasifikacij obravnavali vsako enoto posebej.

Velik vpliv na končni rezultat ima tudi naključni izbor lokacij, kjer smo na terenu preučevali prsti. Prsti, ki smo jih ugotovili na 83 naključno izbranih lokacijah, so služile kot učna območja za izdelavo podpisov, na podlagi katerih smo izvedli nadzorovane klasifikacije. Zavedamo se, da smo na ta način verjetno tudi prezrli kakšno izmed lokacij. Tako nismo upoštevali vseh možnih kombinacij pedogenetskih dejavnikov, s čimer bi še bolj natančno opredelili pokrajino z vidika prsti. Vendar moramo ponovno opozoriti, da je bil eden naših namenov izdelati čim bolj objektiven prikaz prsti v pokrajini, s čim manjšim vplivom ekspertnih ocen.

Legenda razhajanj med obema zemljevidoma prsti kaže na izrazite nelogičnosti (npr. distrična – evtrična, distrična – rjava pokarbonatna, obrečna – rjava pokarbonatna, oglejena – rendzina itd.), ki lahko pomenijo, da je bil kakšen od slojev na neki lokaciji povsem napačno določen. Ta razhajanja so posledica merila in generaliziranosti meje med dvema kartografskima enotama pedološke karte. Meja med posameznima enotama na pedološki karti je izrazito gladka, medtem ko je meja na zemljevidu prsti negeneralizirana. Zato prihaja na pasu ob mejah med dvema tipoma, kjer je presek obeh slojev, na prvi pogled do povsem nerazumljivih napak.

Primerjava rezultatov našega zemljevida prsti in pedogeografske karte ter izseka pedološke karte za naše območje je dalo naslednje ugotovitve:

- meje med posameznimi kartografskimi enotami se zelo dobro ujemajo;
- kartografska prikaza se med seboj ne razlikujeta toliko, kot se dopolnjujeta; čeprav se razlike pojavljajo, so podobnosti mnogo večje kot razhajanja;
- razhajanja so v glavnem posledica različne metodologije, merila, lokacij terenskih meritev in interpretacije rezultatov;
- glavno razhajanje se pojavlja pri interpretaciji rendzin in rjavih pokarbonatnih prsti zaradi izrazito mozaičnega pojavljanja v pokrajini, saj na razporeditev vplivajo dejavniki, ki jih je nemogoče opredeliti z statističnim modeli;
- razhajanje se pojavi pri interpretaciji rankerjev, ki jih pedološka karta posebej ne izdvaja, na terenu pa so bili ugotovljeni.
- do razhajanj prihaja, kjer so biliza izdelavo pedološke karte in zemljevida prsti na voljo različni podatki, predvsem podatki matične podlage;
- za nobenega izmed kartografskih prikazov ne moremo trditi, da je napačen, a vseeno različno interpretira pedogenetske dejavnike. Noben prikaz 100 % ne odraža stanja v pokrajini. Kartografskih prikazov med seboj ne moremo vrednotiti po točnosti, ker se razlikujejo po metodologiji izdelave in namenu prikaza;
- vse prikaze bi bilo mogoče izboljšati.

6 Sklep

Uporabljena metodologija izdelave zemljevidov prsti ima pred klasičnimi metodami nekatere prednosti. Je relativno hitra in poceni, povsem pa je objektivna. Metoda je manj odvisna od merila, saj deluje v rastrskem načinu. Rezultat (pedogeografska enota) za posamezno lokacijo je neodvisen od sosednjih lokacij. Prsti tako ne ločujemo več s črtami, ampak se približujemo postopnim spremembam in prehodom, ki so značilni za prsti (prostorski kontinuum). Za vsako enoto natančno poznamo kom-

binacijo pedogenetskih dejavnikov in zato vemo, zakaj smo jo uvrstili v določeno enoto. Možna je uporaba in modeliranje poljubnega števila pedogenetskih dejavnikov. Do hitrih in dokaj zanesljivih rezultatov lahko teoretično pridemo brez uporabe terenskih ali laboratorijskih analiz, kar pomeni, da ima metoda možnost napovedovanja. S številom terenskih meritev lahko sami, glede na namen in potrebe prispevamo k natančnosti končnega rezultata. Z metodo je mogoče modelirati lastnosti prsti, kar pomeni, da je uporabna tudi pri tehničnih klasifikacijah. Metodo je mogoče z drugim izborom pedogenetskih dejavnikov brez težav prenesti v drugo pokrajino.

Metoda je razkrila tudi nekatere slabosti. Metoda je popolnoma (preveč) odvisna od podatkov in njihove kvalitete. Kartografski prikazi so le toliko natančni, kolikor so natančne baze podatkov. Za dobre rezultate potrebujemo veliko količino raznovrstnih podatkov, kar naredi zbiranje in usklajevanje zamudno. Podatki so pogosto nedostopni ali dragi. Metodologija ne odpravlja težave, da so pedogenetski procesi prezapleteni, da bi se jih dalo v celoti opisati z matematičnimi in statističnimi modeli. Za nobeno lokacijo ne moremo 100 % napovedati skupine prsti. Nemogoče je zajeti vso variabilnost prsti v pokrajini. Metodo je mogoče izpeljati brez velikega finančnega vložka, vendar večja finančna sredstva omogočajo večje število terenskih meritev in laboratorijskih analiz ter s tem zanesljivejše rezultate. Metoda je dobra za napovedovanje »naravnih« skupin prsti. V pokrajinah, kjer je človek v pretežni meri spremenil odejo prsti, takšno napovedovanje nima stika z realnostjo.

V primeru nadaljnjih raziskav v smeri statističnega modeliranja pedogenetskih dejavnikov bi bilo za boljše rezultate nedvomno treba pridobiti: več raznovrstnih podatkov čim boljše kvalitete, podrobnejše podatkovne baze, ekspertno preverjanje zastarelih podatkovnih baz na terenu, večje število terenskih opazovanj ter večje število laboratorijskih meritev in analiz. Treba bi bilo tudi kombinirati klasifikacije s prostorskim modeliranjem lastnosti prsti (tekstura, reakcija, delež $CaCO_3$, kationska izmenjalna kapaciteta, delež organskih snovi, zasičenost z vodo itd.).

Vse to nas na koncu privede do sklepa, da je izdelava dobrega zemljevida prsti (pedološke karte), ne glede na metodologijo, finančno in časovno zahteven ter fizično naporen projekt.

7 Viri in literatura

Bridges, E. M., Davidson, D. A. 1982: Principles and Applications of Soil Geography. London.

Campbell, J. B. 2002: Introduction to Remote Sensing. London.

Digitalni model nadmorskih višin 25x25m. Geodetska uprava republike Slovenije. Ljubljana, 2002.

Dokučajev, V. V. 1883: Ruskii černozem. St. Petersburg.

Gabrovec, M. 1996: Solar radiation and the diverse relief of Slovenia. Geografski zbornik 34. Ljubljana.

IUSS Working Group WRB 2006: World reference base for soil resources 2006 World Soil Resources Reports No. 103. Rome, medmrežje: www.fao.org/ag/Agl/agll/wrb/doc/wrb2006final.pdf (7. 7. 2006).

Jenny, H. 1941: Factors of Soil Formation. New York.

Lillesand, T. M., Kiefer, R. W. 1994: Remote Sensing and Image Interpretation. New York.

Lovrenčak, F. 1981a: Pedogeografske značilnosti Šentjernejskega vršaja. Geografski vestnik 53. Ljubljana.

Lovrenčak, F. 1981b: Pedo in vegetacijsko-geografske značilnosti Gorenjske. Gorenjska: 12. zborovanje slovenskih geografov. Ljubljana.

Lovrenčak, F. 1984: Pedogeografske in vegetacijskogeografske značilnosti Dolenjske. Dolenjska in Bela krajina: 13. zborovanje slovenskih geografov. Ljubljana.

Lovrenčak, F. 1987: Pedogeografske in vegetacijskogeografske značilnosti Notranjske. Notranjska: 14. zborovanje slovenskih geografov. Postojna.

Lovrenčak, F. 1990: Pedogeografske in vegetacijskogeografske razmere v Koprskem Primorju. Primorje: 15. zborovanje slovenskih geografov. Ljubljana.

Lovrenčak, F. 1991: Pedogeografska regionalizacija Pomurske ravnine. Geografska problematika Severovzhodne Slovenije. Dela 8. Ljubljana.

Lovrenčak, F. 1994: Pedogeografija. Ljubljana.
McCoy, R. M. 2005: Field Methods in Remote Sensing. New York.
Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 25.000. 1968. Beograd.
Oštir, K. 2005: Daljinsko zaznavanje. Skripta. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana.
Pedološka karta 1 : 25.000 2006: Pedokartografske enote (PKE). Izrez za širše območje Polhograjskega hribovja. Center za pedologijo in varstvo okolja Biotehniške fakultete. Ljubljana.
Pokrovnost in raba tal. 2002. Ministrstvo za kmetijstvo. Ljubljana.
Prus, T. 2000: Klasifikacija tal. Študijsko gradivo za ciklus predavanj 2000. Medmrežje: http://www.bf.uni-lj.si/cpvo/Novo/PDFs/KlasifikacijaTal.pdf, (7. 6. 2004).
Repe, B. 2004: Soils of Slovenia. Slovenia – A geographical overview. Ljubljana.
Repe, B. 2006: Pedogeografska karta in njena uporabnost v geografiji. Doktorska disertacija, Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
Seznam pedosistemskih enot, 1995: Pedološka karta Slovenije. Center za pedologijo in varstvo okolja, Oddelek za agronomijo Biotehniške fakultete. Ljubljana.
Soil Survey Division Staff 1993: Soil survey manual. Soil Conservation Service. U. S. Department of Agriculture Handbook 18. Medmrežje: http://soils.usda.gov/technical/manual/ (28. 3. 2006).
SOTER Procedures Manual, 1995: SOTER Procedures Manual, Soil and Terrain Database (SOTER) Programme. ISRIC – World Soil Information. Medmrežje: www.isric.org/isric/webdocs/Docs/SOTER_Procedures_Manual_1995.pdf (27. 12. 2004).
Stritar, A. 1991: Pedologija (kompendij). Biotehniška fakulteta. Ljubljana.
Vovk Korže, A., Lovrenčak F. 2001: Priročnik za laboratorijske analize prsti v geografiji. Ljubljana, Maribor.
Vovk Korže, A., Lovrenčak F. 2004: Priročnik za spoznavanje prsti na terenu. Ljubljana.
Vrščaj, B. 1996: Izdelava modela podatkovnega segmenta talnega informacijskega sistema. Diplomska naloga, Oddelek za agronomijo, Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
Zupan, M., Grčman, H., Prus, T., Hodnik, A., Vrščaj, B. 2001: Vaje iz pedologije. I. del – Določanje fizikalnih in kemijskih lastnosti tal. Medmrežje: http://www.bf.uni-lj.si/cpvo/Novo/PDFs/VajePedologijaLab1.pdf, (7. 6. 2004).
Zupančič, M., Marinček, L., Prešeren, M., Puncer, I., Tregubov, V., Žagar, V. 1972: Vegetacijska karta Slovenije, čistorisi – originali. Skenogram vegetacijske karte m 1 : 50.000 lista Ljubljana-3 in Bled-4. Biološki inštitut Jovana Hadžija Znanstvenoraziskovalnega centera SAZU. Ljubljana.

MODEL ZA VREDNOTENJE HIDROLOŠKE VLOGE GOZDA

Špela Fajon, dr. Andreja Ferreira, Anže Japelj, Mihej Urbančič
Gozdarski inštitut Slovenije
spela.fajon@gozdis.si, andreja.ferreira@gozdis.si, anze.japelj@gozdis.si, mihej.urbancic@gozdis.si

*UDK: 630*116(497.4)*
COBISS: 1.16

IZVLEČEK
Model za vrednotenje hidrološke vloge gozda
V prispevku je predstavljen model za vrednotenje hidrološke vloge gozda na primeru vodozbirnega območja Draga. V modelu smo soočili potrebe po hidrološki vlogi gozda, ki jih odražajo zunanji – ekološki dejavniki (naklon ter tipi tal glede na njihovo erodibilnost in prepustnost za vodo) in sposobnost gozda za zagotavljanje hidrološke vloge na podlagi notranjih – sestojnih dejavnikov (sestojna zgradba, sklep in ohranjenost gozdov). Na podlagi presekov predhodno ovrednotenih podatkovnih slojev v programu Idrisi, smo opredelili območja z različno intenziteto potreb po hidrološki vlogi gozda na eni strani in sposobnostjo gozda, da jo zagotavlja na drugi strani. Sintezna karta predstavlja objektivno podlago za načrtovanje gozdnogojitvenih ukrepov, s katerimi lahko izboljšamo sposobnost gozda za zagotavljanje hidrološke vloge.

KLJUČNE BESEDE
gozd, hidrološka vloga, vrednotenje, model, vodozbirno območje Draga

ABSTRACT
Model for evaluation of the forest's hydrological role
Model for evaluation of forest's hydrological role for study area of Draga river basin is presented in this paper. Needs for hydrological role of forest which are expressed by external (ecological) factors (incline and forest floor types distinguished by their erodibility and water permeability) and forest capacity to assure hydrological role which is expressed by internal (forest stand) factors (stand structure) were analysed. On basis of GIS layers intersections in Idrisi programme, areas with different intensity levels of needs for hydrological role and forest capacity to assure it were identified. Joint map presents a good basis for forest management planning enabling us to preserve and improve ability of forests to assure the hydrological role.

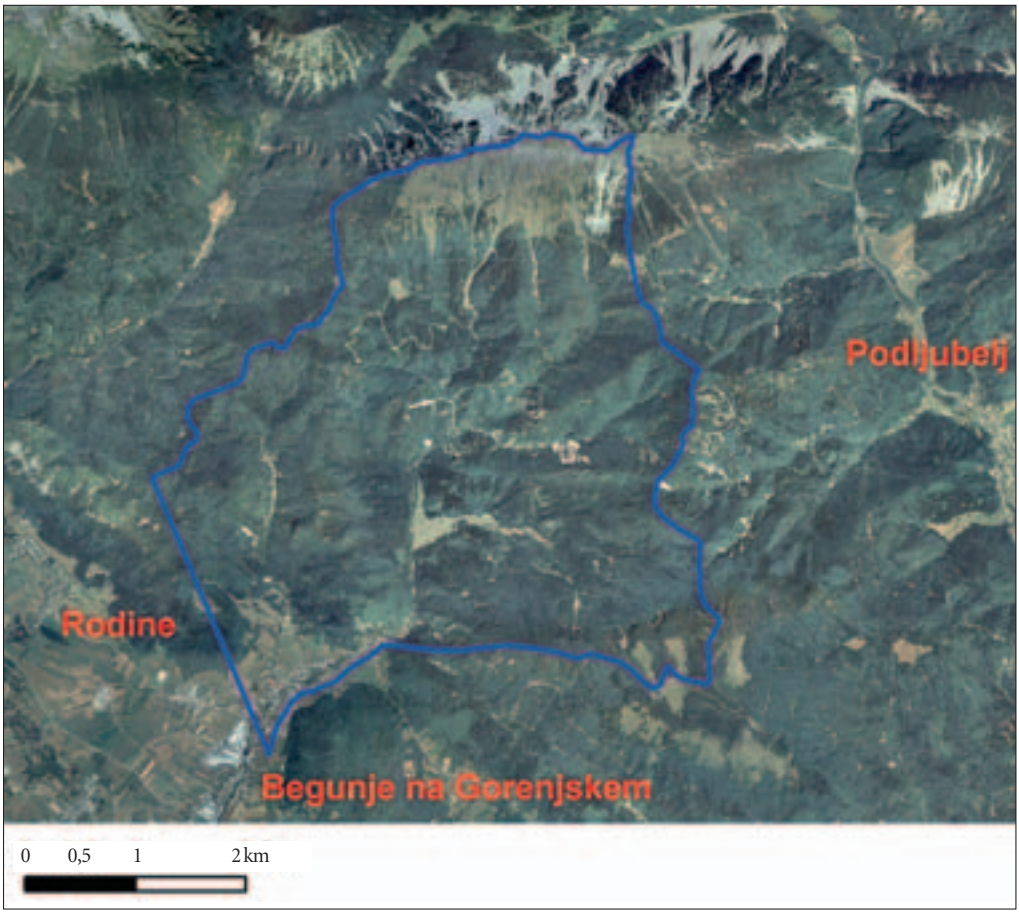
KEY WORDS
forest, hydrological role, evaluation, model, Draga river basin area

1 Uvod

Iz ekosistemske teorije je znano, da gozd niso samo drevesa, grmi in zelišča, pač pa zapleten sistem, ki obsega nadzemni, pritalni in talni sloj skupaj z vsemi živimi bitji, ki te sloje naseljujejo (Gartner in Kovač 2007).

Gozd ni samo porabnik vode, ampak tudi njen naravni filter, rezervoar in dejavnik, ki v veliki meri vpliva na gibanje vodnega odtoka. Pri kroženju vode ta prehaja skozi različne vegetacijske in zemeljske plasti in se pri tem čisti, rastline in gozdna tla pa obenem akumulirajo ogromne količine vode, ki bi sicer prosto odtekala po površju in imela še bolj razdiralne učinke, kot jih ima sedaj. Gozd torej uravnava – upočasnjuje – odtok površinske vode in hkrati varuje tla pred vodno erozijo, oba vpliva gozda pa sta v okviru te raziskave zaradi njune tesne povezave in sorodnosti ukrepov za njuno krepitev združena pod pojmom hidrološka vloga gozda (Gartner in Kovač 2007).

Gozdarstvo ima pomembno in odgovorno nalogo, ki jo je treba razumeti in izvajati na dva vsebinsko različna načina. Prvi obsega varovanje obstoječih podtalnih in površinskih voda in strug ter preprečevanje erozijskih procesov, ki lahko skupaj z visokimi vodami predstavljajo neposredno grožnjo okolici. Drugi pa je vzdrževanje in izboljševanje gozdnih struktur in zgradb, ki posredno dvigujejo



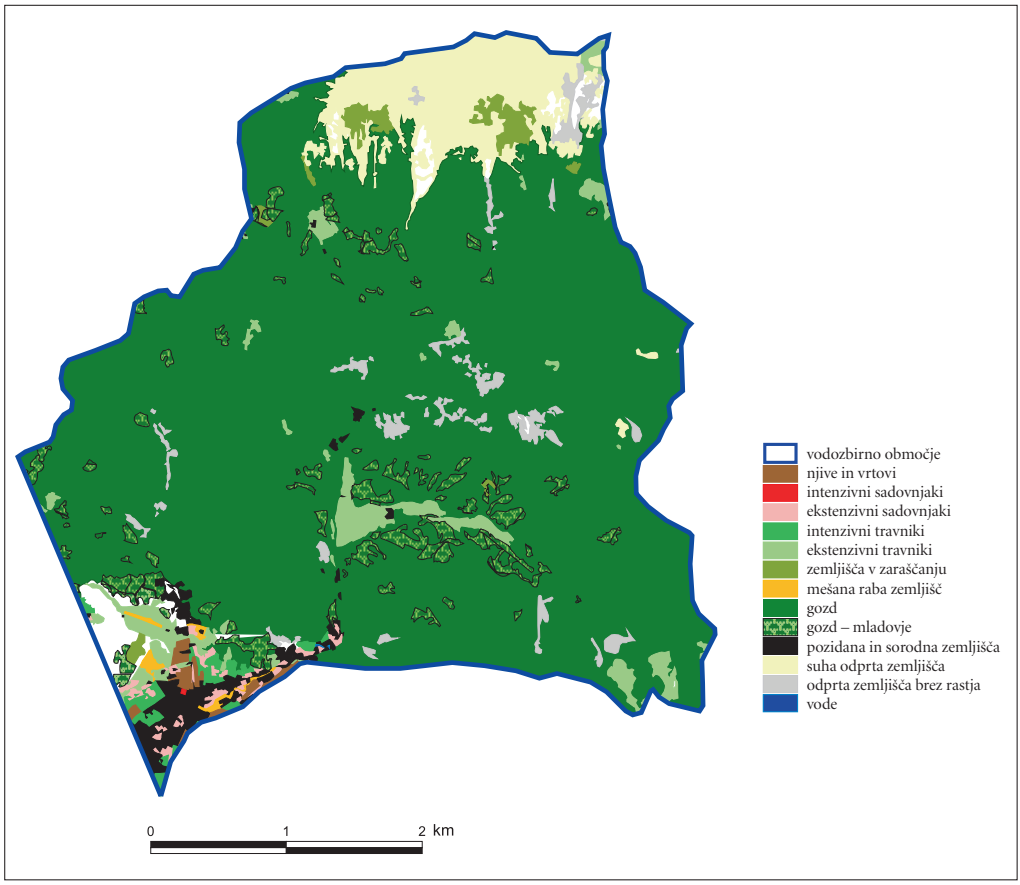
Slika 1: Vodozbirno območje Draga (vir: Geodetska uprava Republike Slovenije, Digitalni ortofoto (DOF 5) 2006).

kapaciteto tal za skladiščenje vode. Gozdarstvo mora s preverjenimi in učinkovitimi ukrepi skrbeti, da bo struktura gozda takšna, da bo poleg vseh ostalih optimalno izpolnjevala tudi hidrološko vlogo (Gartner in Kovač 2007).

V ta namen smo izdelali model gozda, ki nam nazorno pokaže, kje so gozdnogojitveni ukrepi nujni, priporočljivi ali pa trenutno nepotrebni. Ukrepi za izboljšanje ali vzdrževanje ugodnega stanja gozdnega sestoja za hidrološko in varovalno vlogo gozda so lahko v nasprotju s splošnimi gozdnogospodarskimi cilji, zato si moramo pri naboru le-teh postaviti prioritete. Upoštevati moramo tudi prisotnost drugih funkcij v prostoru in socialno-ekonomski pomen gozdov.

2 Območje raziskave

Model je bil preizkušen na primeru vodozbirnega območja Draga, ki se razteza od Begunj na Gorenjskem na jugu do Begunjščice na severu in obsega 1.785,67 hektarja (slika 1). Relief je zelo razgiban. Na desetini območja so nakloni terena manjši od 15°, 19 % površin ima naklone med 15 in 25°, skoraj enak delež (18 %) območja se uvršča v razred naklonov od 25 do 30°. Na dobri polovici površja nakloni



Slika 2: Raba tal v vodozbirnem območju Draga (vir: MKGP RS, Karta rabe kmetijskih zemljišč 1 : 25.000, 2005).

presegajo 30°. Območje se nahaja v nadmorskih višinah od 600 do 2060 metrov. Talni tipi so zelo heterogeni. Sestavljajo jih alpska in organogena črnica, organogene rendzine, skeletoidna, plitva in globoka rjava tla, kisla rjava tla na sivici in koluvialni nanosi (Tla gozdnogospodarske … 1967).

Geografsko se območje uvršča v predalpsko-alpski fitoklimatski teritorij. Letna količina padavin se giblje med 1950 in 2600 mm. Najmanj padavin je od decembra do marca, največ pa v jesenskem času (Gozdnogospodarski … 1999). Visoke vrednosti dnevnih količin padavin nas opozarjajo na stalno nevarnost hudourniških voda in zato na izjemno pomembno hidrološko vlogo gozdov v neposredni bližini hudourniških strug in v širšem vodozbirnem območju.

Prevladujoča raba tal v vodozbirnem območju je gozd (slika 2), ki pokriva 83 % površine, 7 % je gorskih travnikov in skalovitih zemljišč poraslih z robido ali ruševjem, 4 % travinja, 2 % golih skal, delež ostalih rab je zanemarljiv (Karta rabe kmetijskih … 2005).

Skoraj 70 % gozdov je večnamenskih (ni posebej določenega režima gospodarjenja), preostali gozdovi so varovalni. Varovalni gozdovi so samostojna kategorija gozdov, ki so izločeni iz običajnega režima gospodarjenja z gozdovi, ker je v njih izjemno poudarjena ena izmed ekoloških funkcij gozda (43. člen Zakona o gozdovih 2007). V teh gozdovih je režim gospodarjenja prirejen ohranjanju oz. krepitvi te funkcije.

3 Metodologija

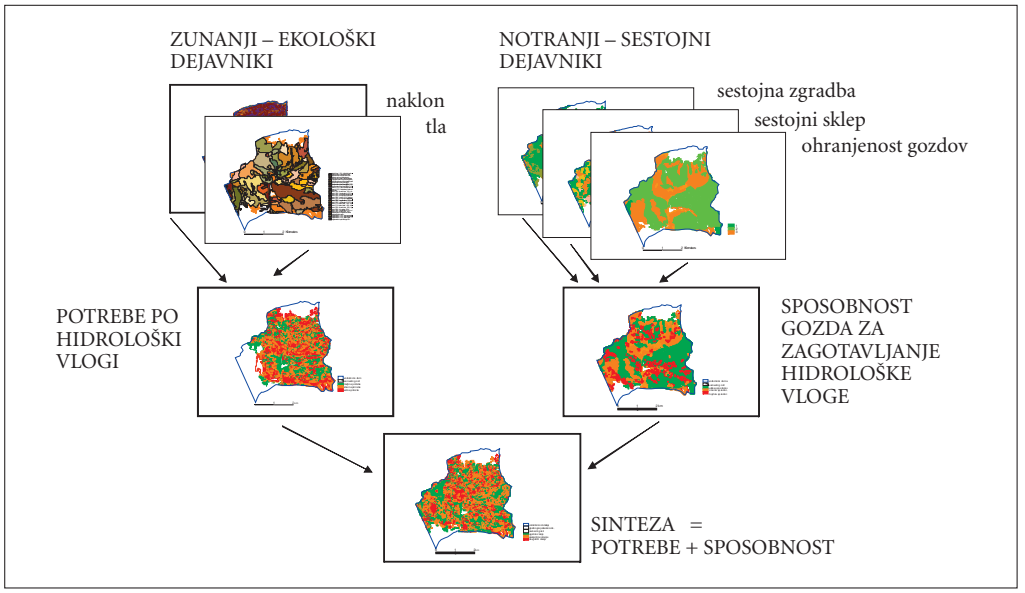
Hidrološko vlogo gozda smo ovrednotili z modelom, ki temelji na švicarski metodologiji (Wullschleger 1982), oblikovani v sklopu priprav na nacionalno gozdno inventuro. Model vključuje notranje (sestojne) in zunanje (ekološke) dejavnike (preglednica 1). Ekološki dejavniki opredeljujejo potrebe po hidrološki vlogi, sestojni pa sposobnost gozda, da jo zagotavlja. Pri vrednotenju hidrološke vloge smo se omejili na količinski vidik, to je na uravnavanje odtoka vode, preprečevanje erozije, zemeljskih plazov, udorov ipd. Kakovost vode v modelu ni bila obravnavana, predvsem zaradi pomanjkanja ustreznih podatkov. Model je bil izdelan ob upoštevanju povprečnih vremenskih razmer.

Obdelava podatkov je potekala v programu Idrisi (Eastman 2006). Vsi podatkovni sloji so bili oblikovani v rastrskem podatkovnem modelu z velikostjo celice 12,5 × 12,5 metra. Pri zunanjih, ekoloških dejavnikih smo vrednotili naklon (vir: DMR 25) ter tipe tal glede na njihovo erodibilnost in prepustnost za vodo (vir: IGLG 1967). Naklon ima velik vpliv pri odtoku površinske in posredno tudi podtalne vode. V primeru presežkov ali neugodne razporeditve padavin vpliva na pogostnost in intenzivnost pojavljanja zdrsov zemljine ali snega. Stopnja erozije narašča s strmino pobočja (Binkley in MacDonald 1994). Pri povečanju naklona z 20° na 30° se, kljub nespremenjenemu vegetacijskemu pokrovu, za 3 krat poveča količina odtoka, količina usedlin pa za 8 krat (Prybolotna 2006). V gozdovih iglavcev pride do nevarnosti proženja snežnih plazov pri približno 35° naklona, na prostem in v macesnovih sestojih pa že pri 30° (Frehner s sodelavci 2005). Tla skupaj z matično kamnino, podnebjem in topografijo spodbudno ali zavirajoče delujejo na sposobnost gozda za opravljanje hidrološke vloge. Ovrednotenje tipov tal glede na njihovo erodibilnost in prepustnost za vodo pripomore k opredelitvi območij, kjer je verjetnost pojavljanja zdrsov večja in je v kombinaciji z večjimi nakloni kritična. Na proženje zemeljskih plazov vpliva prepustnost tal za korenine dreves, problematična so tla, ki jih drevje slabo prekorenini: težka, relativno gosta in občasno namočena tla (Frehner s sodelavci 2005).

Pri notranjih, sestojnih dejavnikih smo analizirali sestojno zgradbo, sklep in ohranjenost gozdov (vir: Gozdnogospodarski … 1999). Pri sestojni zgradbi se je za opravljanje hidrološke vloge gozda kot najprimernejša izkazala malopovršinska raznodobna zgradba z visoko stopnjo zastiranja ter enakomerno porazdelitvijo razvojnih faz (Frehner et al. 2005). Srednje ugodni so sestoji v fazi debeljaka in drogovnjaka. Njihova poraba vode je ustaljena in v ravnotežju z dotokom padavin. Za zmanjšanje visokih pretokov vode naj bo delež negozdnih površin, vrzeli ali mladja do starosti 10 let pod 25 % površine vodozbirnega območja, s čimer se prepreči hiter odtok padavin, ki bi prosto odtekle po kmetijskih in

golih površinah znotraj gozda v nižje ležeča območja (Twery in Hornbeck 2001). Izgube vode zaradi transpiracije in prestrezanja vode so velike tudi v grmičastih sestojih (Chang 2003), a so ti zaradi ugodnega delovanja na vezavo tal priporočljivi v ekstremnih pogojih (varovalni gozdovi). Z vidika preprečevanja erozije naj se na celotnem vodozbirnem območju zagotavlja stalna pokrovnost vegetacije (Frehner s sodelavci 2005). Zagotoviti je treba trajno naravno pomlajevanje, ki poteka pod zastorom starega sestoja. Vrzeli v sestojih, kjer je nujna obnova, naj bodo čim manjše, kolikor to dopušča uspešnost pomlajevanja. V celotnem vodozbirnem območju kot tudi v obrežnih pasovih naj bo gostota zgornje plasti krošenj nad 70 %, kar predstavlja tesen ali normalen sklep (Twery in Hornbeck 2001). Vrzelast in pretrgan sklep zaradi pospešenega odtekanja vode nista primerna. Ohranjenost gozdov je kazalec naravnega stanja gozdov. Kaže nam stopnjo poseganja v razvoj gozdov in spremenjenost drevesne sestave. Naravne strukture gozdov z gozdnogospodarskimi ukrepi ne smemo spreminjati, saj je ta prilagojena lokalnim ekološkim dejavnikom.

Na osnovi zgoraj opisanih ugotovitev iz literature in izkušenj gozdarske stroke so bili zunanji in notranji dejavniki ovrednoteni z vrednostmi od 1 do 3, kjer 1 pomeni najbolj, 3 pa najmanj ugodno stanje (preglednica 1). Večja vrednost pri zunanjih dejavnikih pomeni večjo potrebo po hidrološki vlogi, pri notranjih pa manjšo sposobnost gozda za opravljanje hidrološke vloge.



Slika 3: Shematski prikaz presekov podatkovnih slojev, uporabljenih v modelu.

Pri vsakokratnem preseku podatkovnih slojev smo dobili matriko vrednosti:

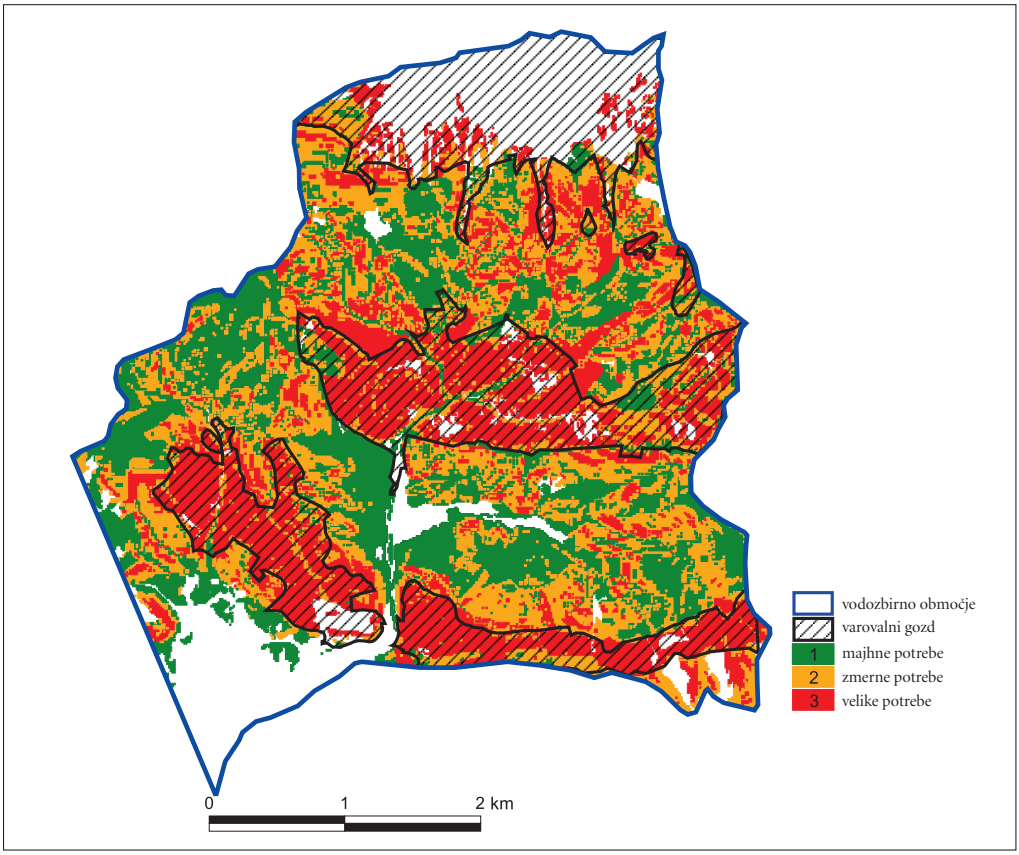
1.1	1.2	1.3
2.1	2.2	2.3
3.1	3.2	3.3

Kombinacija vrednosti nam je dala novo vrednost. Kombinacijam vrednosti 1.1, 1.2 in 2.1 smo pripisali vrednost 1 (ugodno stanje), kombinacijam vrednosti 1.3, 2.2 in 3.1 vrednost 2 (sprejemljivo stanje) in kombinacijam vrednosti 2.3, 3.2 in 3.3 vrednost 3 (neugodno stanje).

Preglednica 1: Zunanji (ekološki) in notranji (sestojni) dejavniki, ki vplivajo na hidrološko vlogo gozda.

	zunanji (ekološki) dejavniki		notranji (sestojni) dejavniki		
vrednost	naklon	erodibilnost in prepustnost tal za vodo	sestojna zgradba	sestojni sklep	ohranjenost gozdov
1	0–24,9°	malo erodibilna, normalno prepustna	raznodobna zgradba, grmičast gozd	tesen, normalen	ohranjeni
2	25–29,9°	srednje erodibilna, normalno prepustna	debeljak, drogovnjak	rahel	spremenjeni
3	30° in več	zelo erodobilna, malo prepustna	mladovje, sestoj v obnovi	vrzelast, pretrgan	močno spremenjeni

Različne ekološke in sestojne značilnosti ocenjujemo ločeno drugo od druge z vrednostmi 1, 2 ali 3. Vsak sestoj zase ima lahko različne vrednosti posameznih dejavnikov, tako lahko npr. vsaka od različnih sestojnih zgradb obsega vse vrste sestojnega sklepa in tudi vse stopnje ohranjenosti.



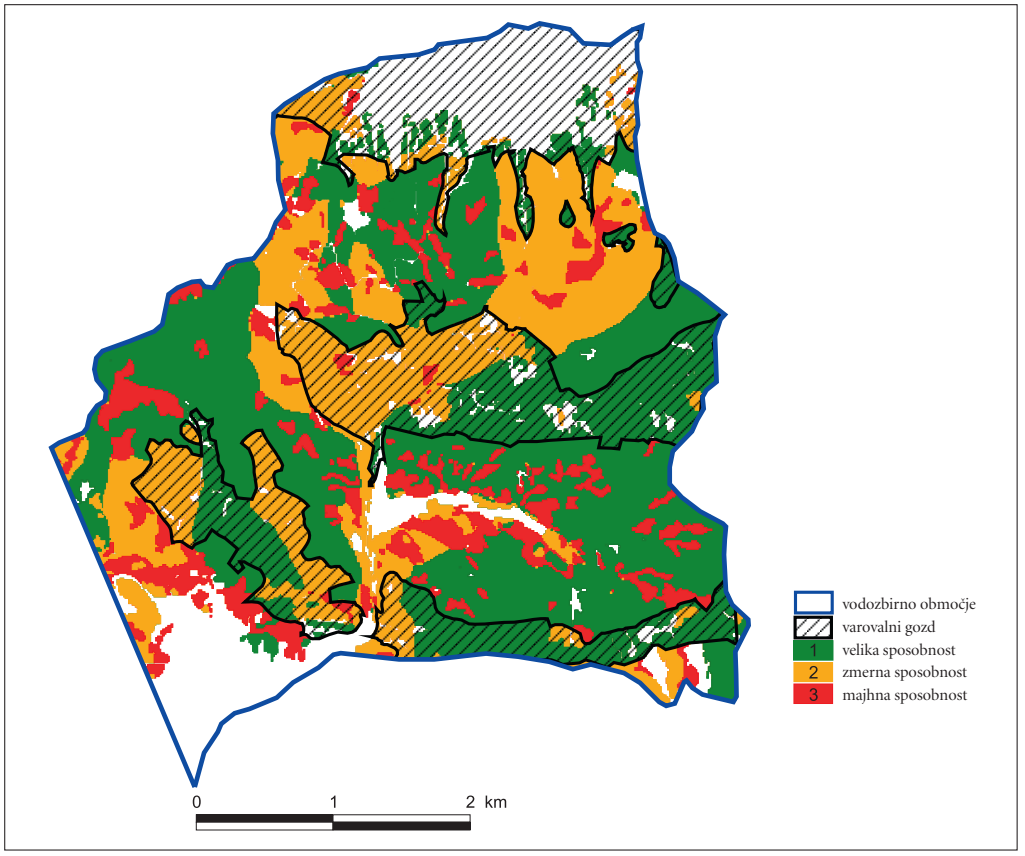
Slika 4: Potrebe po hidrološki vlogi gozda na osnovi ekoloških dejavnikov.

Ko so bili osnovni podatkovni sloji ovrednoteni, smo postopek nadaljevali z njihovim združevanjem. S programom Idrisi smo naredili preseke (vrednotenje) v več korakih (slika 3):

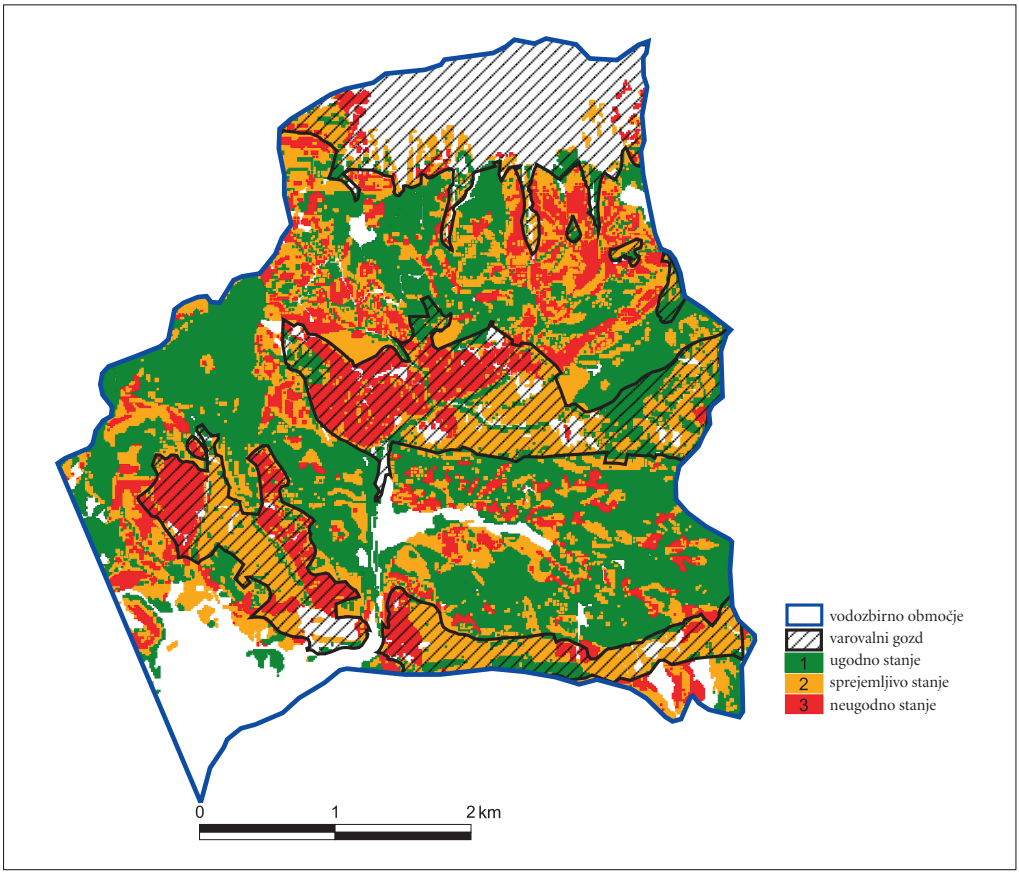
- 1. presek zunanjih (ekoloških) dejavnikov: naklona terena in tipov tal: **karta potreb po hidrološki vlogi gozda**,
- 2. presek notranjih (sestojnih) dejavnikov: sestojna zgradba, sklep in ohranjenost gozdov: **karta sposobnosti gozda za zagotavljanje hidrološke vloge gozda**,
- 3. presek potreb po hidrološki vlogi gozda in sposobnosti gozda, da jo zagotavlja: **sintezna karta**.

4 Rezultati

Kot smo že predhodno omenili, smo v prvem koraku združili ovrednoteni karti naklona in tipov tal glede na njihovo erodibilnost in prepustnost za vodo. Rezultat je karta potreb po hidrološki vlogi gozda na osnovi ekoloških dejavnikov (slika 4). Vrednost 1 izraža majhno potrebo, vrednost 2 zmerno, vrednost 3 pa veliko potrebo po hidrološki vlogi gozda. V gospodarskem gozdu večina površin kaže majhne (40 %) ali zmerne potrebe (41 %), na 19 % površin pa so izražene velike potrebe po hidrološki vlogi gozda. Stanje je precej manj ugodno v varovalnem gozdu, kjer so na 9 % površine izražene potrebe po hidrološki vlogi majhne, na 21 % zmerne in na 70 % velike.



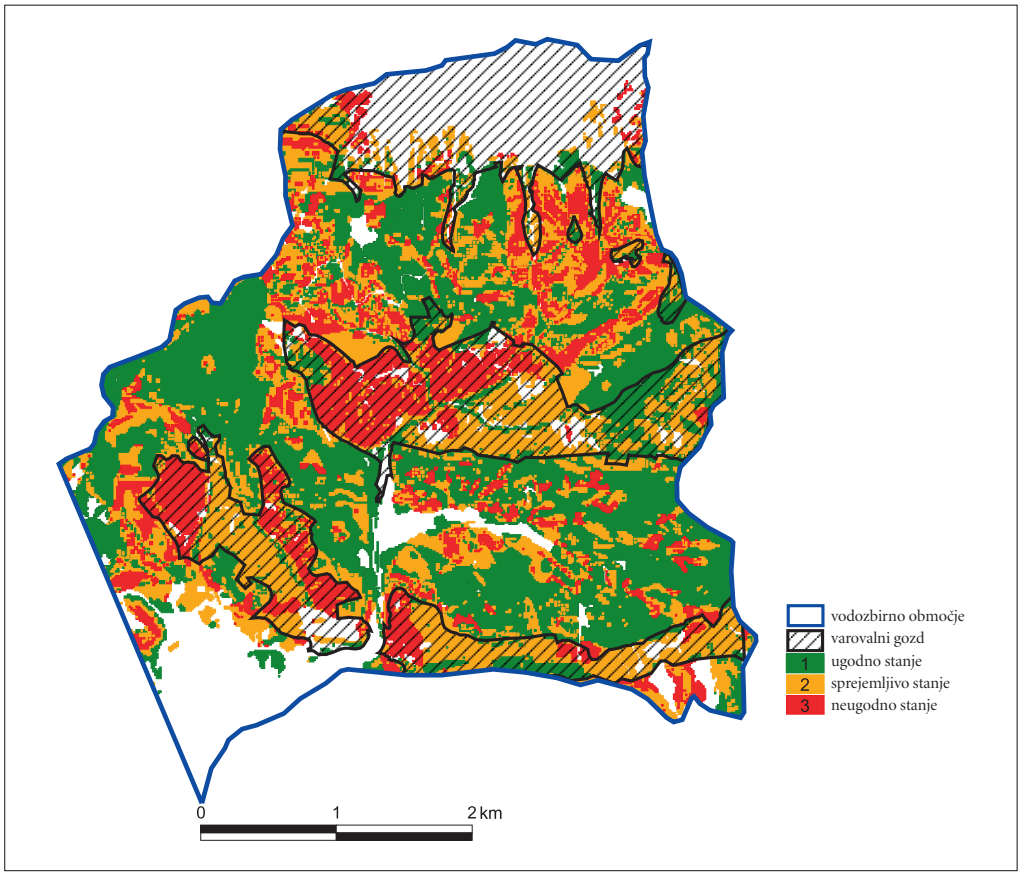
Slika 5: Sposobnost gozda za zagotavljanje hidrološke vloge.



Slika 6: Sintezna karta – Potrebe po hidrološki vlogi in sposobnost gozda, da jo zagotavlja.

V drugem koraku smo z združitvijo ovrednotenih kart notranjih oziroma sestojnih dejavnikov (sestojne zgradbe, sklepa in ohranjenosti gozdov) dobili karto sposobnosti gozda za zagotavljanje hidrološke vloge (slika 5). Vrednost 1 izraža veliko, vrednost 2 zmerno in vrednost 3 majhno sposobnost gozda za zagotavljanje hidrološke vloge. Rezultati so podobni tako v gospodarskem kot varovalnem gozdu, v slednjem so celo nekoliko ugodnejši. V obeh kategorijah je več kot polovica gozdov primerno strukturiranih (55 % v gospodarskem in 56 % v varovalnem gozdu) in kažejo veliko sposobnost za zagotavljanje hidrološke vloge, 28 % površin v gospodarskem in 43 % v varovalnem gozdu ima zmerne sposobnosti, manjši del, le 17 % v gospodarskem in 1 % v varovalnem gozdu, pa ima majhne sposobnosti za zagotavljanje hidrološke vloge gozda.

V zadnjem koraku smo združili karto potreb po hidrološki vlogi gozda in karto sposobnosti gozda za zagotavljanje hidrološke vloge gozda ter dobili končno – sintezno karto (slika 6). Vrednost 1 izraža majhno potrebo po hidrološki vlogi in veliko sposobnost gozda za opravljanje hidrološke vloge, kar pomeni ugodno stanje, vrednost 2 je kombinacija zmernih potreb in zmerne sposobnosti, kar pomeni sprejemljivo stanje, vrednost 3 pa je kombinacija velikih potreb in majhne sposobnosti, kar pomeni neugodno stanje gozda. Vrednost 3 predstavlja kritične površine, kjer gozdni sestoji zaradi neustrezne drevesne zgradbe, sklepa ali slabe ohranjenosti niso kos velikim potrebam po hidrološki vlogi. Rezultati so pokazali, da je na 55 % površin gospodarskega gozda stanje ugodno, na 29 % sprejemljivo, na 16 %



Slika 6: Sintezna karta – Potrebe po hidrološki vlogi in sposobnost gozda, da jo zagotavlja.

Preglednica 2: Zunanji (ekološki) in notranji (sestojni) dejavniki na primeru 3 odsekov v dolini Drage.

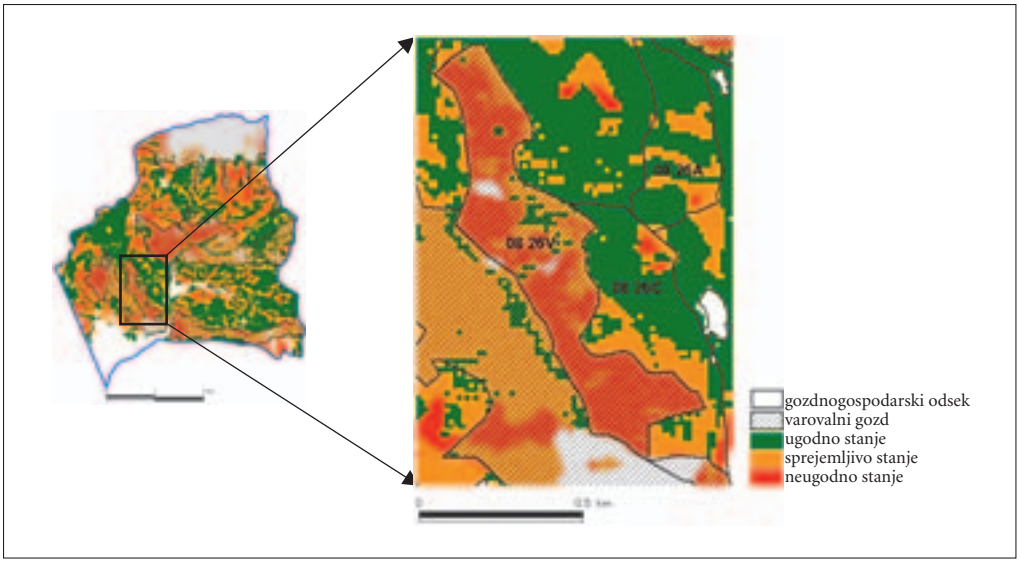
	zunanji (ekološki) dejavniki		notranji (sestojni) dejavniki		
odsek	naklon terena	erodibilnost in prepustnost tal za vodo	sestojna zgradba	sestojni sklep	ohranjenost gozdov
26A	0–24,9°	srednje erodibilna, normalno prepustna	mladovje, sestoj v obnovi debeljak, drogovnjak	tesen, normalen, rahel	spremenjeni
26C	25–29,9°	srednje erodibilna, normalno prepustna	debeljak, drogovnjak raznodobna zgradba	tesen, normalen, rahel	spremenjeni
26V	30° in več	zelo erodobilna, malo prepustna	raznodobna zgradba, grmičast gozd	normalen	močno spremenjeni

pa neugodno. Stanje je slabše v varovalnem gozdu, saj je stanje ugodno le na dobri petini površin, 46 % površin kaže sprejemljivo, skoraj tretjina površin pa neugodno stanje, kar pomeni, da sposobnost gozda ni sorazmerna potrebam po hidrološki vlogi gozda.

Uporabnost modela je v nadaljevanju prikazana na primeru treh gozdnogospodarskih odsekov (v nadaljevanju odsekov). Odseki so najmanjše trajne prostorske enote, ki jih gozdarska stroka uporablja za načrtovanje gospodarjenja z gozdovi in so praviloma večji od 3 ha (Pravilnik … 2008). Odseki 26A, 26C in 26V (slika 7) se nahajajo na nadmorskih višinah od 625 do 1110 m. Prva dva sodita v večnamenske, zadnji pa v varovalne gozdove. Po zunanjih, ekoloških dejavnikih se med seboj precej razlikujejo (preglednica 2).

Potrebe po hidrološki vlogi gozda se večajo, ko se bližamo strmim, varovalnim odsekom. Pri notranjih (sestojnih) dejavnikih je opazna razlika med zgradbo odsekov, ki ležijo bližje kmetijskim površinam in niso strmi, ter zgradbo v varovalnih odsekih. Pobočja v varovalnem odseku prekriva grmičast gozd smreke, bukve, velikega jesena in črnega gabra, ugoden z vidika preprečevanja površinske erozije. Sposobnost gozda za zagotavljanje hidrološke vloge gozda je majhna v sestojih, ki so mlajših razvojnih faz in rahlega sklepa. Zmerno sposobnost gozda izkazujejo površine v varovalnem gozdu v odseku 26V, veliko sposobnost pa izkazujejo površine v odsekih 26C in 26A, razen že prej omenjenih mladovij.

Analiza obstoječega stanja in teoretična izhodišča za zagotavljanje hidrološke vloge gozda so podlaga za opredelitev konkretnih gozdnogojitvenih ukrepov (Fajon 2007). Prve obnovitvene sečnje v odseku 26A naj bodo zaradi zagotavljanja večjega deleža bukve v naravni sestavi mladovij manjših jakosti. Pomladitvene dobe naj bodo daljše in brez večkratnega poseganja v gozd, saj z gozdnogojitvenimi ukrepi povzročamo erozijske procese. Sestojni sklep je ugoden na večini površin izbranih odsekov. Površine z mladovji in sestoji v obnovi v odsekih 26A in 26C imajo rahel sklep, ki je manj ugoden. Če skrbimo za stalno pokrovnost z gozdno vegetacijo in naravno obnovo sestojev (Frehner et al. 2005), bo tudi sestojni sklep ugoden. Ukrepanje naj bo skupinsko postopno. V obeh odsekih večnamenskih gozdov je drevesna sestava delno spremenjena (vnos smreke na rastišča bukve), v varovalnem pa je celo močno spremenjena. V čistih smrekovih sestojih, predvsem tistih slabše stabilnosti in kakovosti v odsekih 26A in 26C, je obnova lahko predčasna. V sklenjenih sestojih iglavcev naj se vzpostavijo jedra listavcev. Kjer ni prisotnega naravnega mladja listavcev, se poslužujemo sadnje. Na ekstremnih legah v varovalnem odseku



Slika 7: Izsek iz sintezne karte, prekrit z gozdnogospodarskimi odseki.

26V (velik naklon, večja nadmorska višina) naj imajo prednost vrste z močnim koreninskim sistemom (rušje, rdeči bor, macesen, gorski javor, jelka). Na položnejših območjih v odseku 26A, kjer želimo zmanjšati površinski odtok vode, pa je treba pospeševati pomlajevanje plemenitih listavcev kot pomembnih porabnikov vode.

5 Sklepi

Model za vrednotenje hidrološke vloge gozda predstavlja kakovostno podlago za načrtovanje gozdnogojitvenih ukrepov, s katerimi lahko v skladu s potrebami vzdržujemo obstoječe stanje, ali izboljšamo sposobnost gozda za zagotavljanje hidrološke vloge. Prednost pri načrtovanju ukrepov morajo imeti kritične površine. Vsaka prostorska enota je opremljena s petimi vrstami podatkov, ki omogočajo izčrpno analizo dejavnikov, ki vplivajo na potrebe in sposobnost gozda za opravljanje hidrološke vloge ter opredelitev potrebnih ukrepov za izboljšanje stanja.

Rezultati analize potreb po hidrološki vlogi in sposobnosti gozda na študijskem območju so pokazali problematično stanje v varovalnih gozdovih, saj je razmerje med potrebami in sposobnostmi v teh še posebej neugodno. Varovalni gozdovi so izločeni iz večnamenskih gozdov tudi zaradi velikih naklonov in posledično bolj erodibilnih tal. Le redke rastlinske združbe lahko v teh razmerah odlično opravijo svojo varovalno vlogo. Ta ugotovitev in dejstvo, da nalaga zakonodaja gozdarstvu določen obseg gospodarjenja tudi v varovalnih gozdovih (5. člen Uredbe … 2005), daje modelu dodatno uporabnost. Ker na zunanje (ekološke) dejavnike ne moremo vplivati, se moramo toliko bolj osredotočiti na zagotavljanje ugodnega stanja notranjih (sestojnih) dejavnikov.

Ugotavljanje elementov, ki zmanjšujejo sposobnost gozda za opravljanje hidrološke vloge v tako strukturiranem modelu, ni težko. Naloga gozdarske stroke pa je, da na podlagi ugotovljenih dejstev sprejme in upošteva ustrezne gozdnogojitvene ukrepe, s katerimi lahko bistveno pripomore k zagotavljanju hidrološke vloge gozda. Glavna dodana vrednost modela za vrednotenje hidrološke vloge gozdov je:

- nepristranska uporaba zakonodajnih podlag pri opredeljevanju potreb po hidrološki vlogi gozda,
- jasna merila opredeljevanja sposobnosti gozda za opravljanje hidrološke vloge gozda,
- opredelitev vzrokov za neugodno razmerje med potrebami in sposobnostmi,
- podlaga za utemeljen izbor primernega gozdnogojitvenega ukrepa za krepitev hidrološke vloge gozdov.

6 Viri in literatura

Binkley, D., Macdonald, L., H. 1994: Forests as non-point sources of pollution and effectiveness of Best Management Practices. National Council for Air and Stream Improvement. New York.

Chang, M. 2003: Forest hydrology: an introduction to water and forests. CRC Press LLC. Texas.

Digitalni ortofoto (DOF 5). 2006. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana.

DMR 25. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana.

Eastman – Guide to GIS and Image Processing. 2006. Idrisi Andes. 2006. Clark Labs. Worcester

Fajon, Š. (ur.). 2007: Gozd in voda: zbornik z rezultati projekta Interreg IIIA. Gozdarski

Frehner, M., Wasser, B., Schwitter, R. 2005: Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Birmensdorf.

Gartner, A., Kovač, M. 2007: Predgovor. Gozd in voda: zbornik z rezultati projekta Interreg IIIA. Ljubljana.

Gozdnogospodarski načrt gozdnogospodarske enote Radovljica – levi breg Save 1999–2008. 1999. Zavod za gozdove Slovenije, Območna enota Bled. Bled.

IGLG. 1967. Pedološka karta 1 : 10.000, 1967. Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo Slovenije. Ljubljana.

inštitut Slovenije, Zavod za gozdove Slovenije. Ljubljana.

Karta rabe kmetijskih zemljišč 1 : 25.000. 2005. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Ljubljana.

Pravilnik o gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtih. UL RS 5/1998, 70/2006, 12/2008.
Prybolotna, N. 2006: Content of the sediment in runoff in the small Beskid's watershed. Assesing of soil and water conditions in forests, Forest Research Institute, Center for Exellence PROFOREST for Protection of Forest Resources in Central Europe. Warsaw.
Tla gozdnogospodarske enote Radovljica, 1967. Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo Slovenije. Ljubljana.
Twery, M., J., Hornbeck, J., W. 2001: Incorporating water goals into forest management decisions at a local level. Forest Ecology and Management 143. Amsterdam.
Uredba o varovalnih gozdovih in gozdovih s posebnim namenom. UL RS 88/2005, 56/2007.
Wullschleger, E. 1982. Die Erfassung der Waldfunktionen. Berichte. Eidgenössische Anstalt für forstliche Versuchvesen, Birmensdorf.
Zakon o gozdovih. UL RS 30/1993, 67/2002, 110/2007.

MOŽNOSTI IZDELAVE IN VZDRŽEVANJA KART GOZDNIH SESTOJEV

Mitja Skudnik, dr. Marko Kovač
Gozdarski inštitut Slovenije
mitja.skudnik@gozdis.si, marko.kovac@gozdis.si

dr. David Hladnik
Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani
david.hladnik@bf.uni-lj.si

*UDK: 630*56:659.2:004*
*528.94:630*56*
COBISS: 1.17

IZVLEČEK
Možnosti izdelave in vzdrževanja kart gozdnih sestojev
Temeljna načela slovenskega gozdarstva so mnogonamenskost, trajnost in sonaravnost, zato v okviru gozdarskega informacijskega sistema pridobivamo tudi podatke za prostorske enote, ki obravnavajo gozd kot ekosistem. Sestojna karta predstavlja pregleden prikaz stanja gozdov in vsebuje informacije o strukturi gozdnih sestojev ter načinu gospodarjenja. V praksi sestojne karte najpogosteje izdelujejo na podlagi ortofoto posnetkov. Ker je za slovenske gozdove značilna pestra zgradba, je gozdne sestoje težko razmejevati brez prostorskega opazovanja v stereoskopskem modelu. Na dveh testnih primerih smo prikazali možnosti za izdelavo in vzdrževanje sestojnih kart s stereoploterjem, neposredno povezanem v okolju GIS.

KLJUČNE BESEDE
sestoj, sestojne karte, fotointerpretacija, geografski informacijski sistem, digitalna fotogrametrija, gozdnogospodarsko načrtovanje, gozdnogojitveno načrtovanje

ABSTRACT
Possibilities of creating and updating forest stand maps
Multifunctionality, sustainability and close-to-nature development of forests are the basic principles of Slovenian forestry and to fulfil the needs of these principles, forest information system gathers all data on those spatial units that concern forest as an ecosystem. Stand map presents clear survey of current forest conditions and contains information about stand structures and forest management systems. In practice are all stand maps usually delineated on the basis of digital orthophotos. The delineation of forest stands without desktop digital photogrammetric techniques is very limited due to the diversity of Slovenian forests. On two test areas the possibility of creating and updating of stand maps with digital stereoplotter, interfaced directly to geographical information system, was shown.

KEY WORDS
stand mapping, fotointerpretation, geographical information system, digital photogrammetry, forest management planning, silvicultural planning

1 Uvod

Slovensko gozdarstvo je eno redkih v Evropi, ki v praksi že desetletja udejanja načela trajnostnega, mnogonamenskega in sonaravnega gospodarjenja z gozdovi. Ta načela zahtevajo dobro poznavanje in razumevanje stanja, sprememb in razvoja gozdov na različnih prostorskih (npr. gozdni sestoj, odsek, oddelek, rastiščnogojitveni razred, gozdnogospodarska enota, gozdnogospodarsko območje, država) in časovnih ravneh. V zadnjih letih se vloga gozdov in gozdarstva povečujeta. Vse pomembnejše postaja pridobivanje podatkov za prostorske enote, ki obravnavajo gozd kot ekosistem, razširil se je obseg znakov in parametrov, ki jih spremljamo v okviru gozdnih inventur. Gozdne inventure in celoten sistem monitoringa gozdov so prilagojeni potrebam gozdnogospodarskega in gozdnogojitvenega načrtovanja, stanju gozdov in raznoliki sestojni strukturi ter trajnostni in mnogonamenski rabi gozda. Gozdarski informacijski sistem, ki je bil zasnovan v zadnjem desetletju, postaja pomembno izhodišče v participativnem načrtovanju in prostorskem planiranju, prispeva tudi k širitvi znanja o gozdnih ekosistemih in promociji osnovnih principov načrtovanja v gozdarstvu tudi na druga strokovna področja v družbi (Kovač 2002).

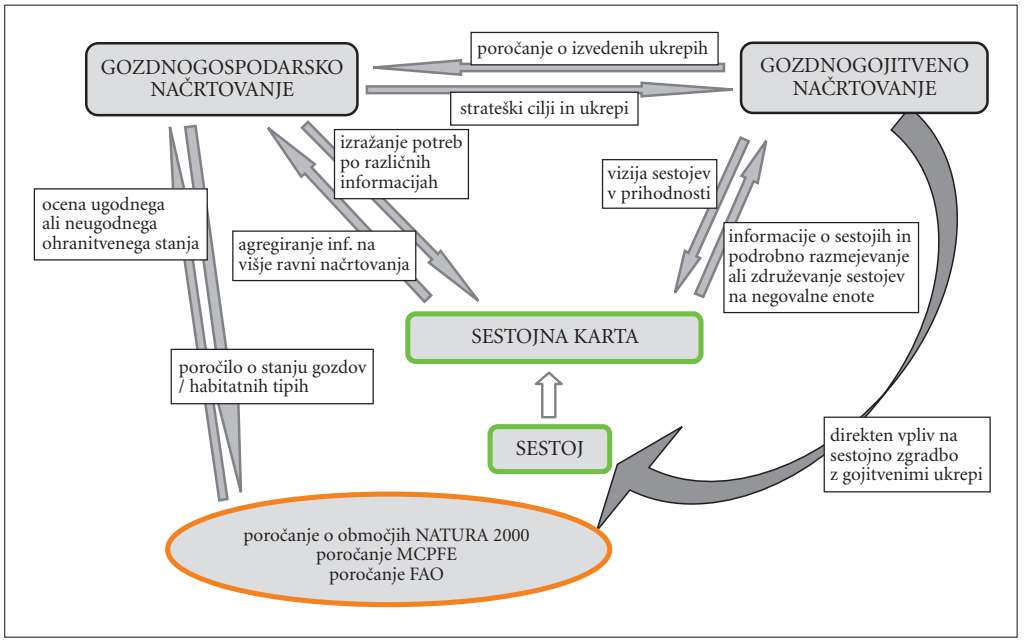
Po zadnjih podatkih Zavoda za gozdove Slovenije (v nadaljevanju ZGS) pokrivajo v Sloveniji gozdovi 1.174.000 ha površine, kar znaša 58 % celotnega ozemlja (ZGS 2008a). Za Slovenijo so značilne zelo pestre rastiščne razmere, pestri in strukturno raznoliki gozdovi, ki so povečini dobro ohranjeni, saj je njihovo vrstno sestavo človek v zadnjih stoletjih manj spremenil kot na primer v drugih evropskih državah. Po drugi svetovni vojni je bil prepovedan golosečni sistem gospodarjenja. V zadnjih 50-ih letih se je na Slovenskem uveljavilo sonaravno gospodarjenje z gozdovi, kjer imajo prednost raznomerni sestoji, ki jih sestavljajo avtohtone drevesne vrste. Gozdnogojitvene tehnike temeljijo na izbiralnem redčenju posameznih dreves ali manjših skupin dreves. V čim večji meri se uporablja naravno pomlajevanje pod zastorom starejših dreves, zaželene so naravne strukture gozda (npr. redčenje v skupinah, uporaba naprednih načinov pomlajevanja), izkorišča se naravna kompeticija med posameznimi drevesnimi in grmovnimi vrstami (Diaci 2006). Rezultat takšnega načina gospodarjenja z gozdovi je sonaraven, trajnosten in mnogonamenski gozd, kjer se na manjših površinah prepletajo različni sestoji, med katerimi so meje pogosto zelo neizrazite.

Gozdni sestoj je mogoče opredeliti kot najmanjšo prostorsko enoto, ki se od okolice loči po svoji vrstni sestavi dreves, njihovi starosti, vertikalni zgradbi, razvojnem stadiju in ima izoblikovano sestojno klimo, svoje notranje okolje. Gozdni ekologi se pri opredelitvi gozdnega sestoja opirajo predvsem na razlike v zgradbi in delovanju posameznega takega dela gozda, medtem ko na področju gojenja gozdov in gozdnogospodarskega načrtovanja upoštevajo tudi zahtevo po enotnih gozdnogojitvenih ukrepih (Poljanec 2005).

Gozdno inventuro in možnosti kartiranja gozdnih sestojev na Slovenskem dodatno otežujejo še nekateri drugi dejavniki. Približno 71 % gozdne površine je v zasebni lasti in prevladuje drobnoposestniška struktura, kjer so zasebne gozdne parcele velike povprečno 3 ha (ZGS 2008b). Te so pogosto razdeljene še na več prostorsko ločenih parcel. Poleg tega gozdovi na Slovenskem pokrivajo skoraj 70 % območij Natura 2000. Na teh površinah je bil predlagan integralni monitoring, ki bi bil vključen v proces gozdnogospodarskega načrtovanja in tako za Slovenske razmere najbolj učinkovit, tudi glede na stroške. Tako se večino indikatorjev, ki so pomembni za spremljanje in ocenjevanje ugodnega ohranitvenega stanja za območja Natura 2000 že uporablja in ocenjuje v obstoječem sistemu gozdnogospodarskega načrtovanja. Golob (2006) je ocenil, da bi bilo potrebno izpeljati nekatere posamezne spremembe in izboljšave v gozdnogospodarskih načrtih na ravni gozdnogospodarskih enot in regionalnih ravneh, s čimer bi celostne

2 Gozdna inventura in temeljni informacijski viri pri izdelavi sestojnih kart

Načrtovanje v slovenskem gozdarstvu obsega tri ravni: regionalno gozdnogospodarsko načrtovanje za 14 gozdnogospodarskih območij, operativno gozdnogospodarsko načrtovanju za 236 gozdnogospo-



Slika 1: Umestitev sestojne karte v načrtovalski postopek in povezave med gozdnogospodarskim in gozdnogojitvenim načrtovanjem (Skudnik 2007).

darskih enot in gozdnogojitveno načrtovanje. V okviru načrtovanja so bili gozdni sestoji pogosto predmet dveh podrobnih operativnih načrtov; gozdnogospodarskega in gozdnogojitvenega načrtovanja, kar je vodilo v občasno podvajanje kartiranja ter opisovanja sestojev. Poljanec (2005) je ocenil, da obstaja nezadostna povezava med obema ravnema načrtovanja tako v vsebinskem kot tudi v organizacijskem smislu, kar se odraža v zelo podrobnem zbiranju sestojnih informacij in preveč poudarjeni inventuri stanja pri gozdnogojitvenem načrtovanju ter premajhni prilagodljivosti podrobnega načrtovanja naravnim, posestnim in socioekonomskim razmeram.

Z razvojem sistema gozdne inventure ter kontrolne vzorčne metode so bile v gozdarstvo vključene različne tehnike daljinskega zaznavanja in pridobivanja podatkov. Temeljne metode pridobivanja teh podatkov lahko razdelimo na terenske popise gozdov, ciklično gozdno inventuro, fotointerpretacijo letalskih posnetkov ter uporabo digitalnih ortofoto posnetkov in interpretacijo multispektralnih satelitskih slik. Kljub dolgi tradiciji gozdnogospodarskega in gozdnogojitvenega načrtovanja, so bile stalne vzorčne ploskve in interpretacija letalskih posnetkov prvič uporabljene v slovenskem gozdarstvu pred 35 leti. V osemdesetih letih prejšnjega stoletja so nastale prve karte gozdnih sestojev, izdelane na podlagi fotointerpretacije letalskih posnetkov in s preprostimi instrumenti, ki so omogočali prenos razmejenih sestojev iz letalskih posnetkov na karte. Ta tehnologija je bila pogosto premalo učinkovita, poleg tega so bile pozicijske napake v hribovitem in gorskem svetu prevelike. Večji razmah je uporaba metod daljinskega zaznavanja v gozdarstvu dosegla po letu 1985, ko so se pri ocenjevanju propadanja gozdov pričeli uporabljati tudi infrardeči barvni letalski posnetki. V tem obdobju so bile razvite temeljne metode fotointerpretacije (Hočevar in Hladnik 1988), na Gozdarskem inštitutu Slovenije ter na Oddelku za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete pa so pričeli razvijati računalniški sistem za monorestitucijo letalskih posnetkov. Obe inštituciji sta nadaljevali z razvojem izdelave sestojnih kart z uporabo preprostega analitičnega stereoploterja (APY) in monorestitucijskih sistemov (MONOPLOT, AMS).

V slovenskem gozdarstvu uporabljamo letalske posnetke Cikličnega aerosnemanja Slovenije, za nekaj gozdnogospodarskih enot so bili v letih 1985, 1988 in 1992 v okviru posebnih letalskih snemanj posneti tudi infrardeči letalski posnetki v merilu 1 : 6.000 do 1 : 10.000. Nove možnosti za razmah fotointerpretacije so nastale z razvojem tehnologije digitalnega ortofota in zlasti z novo digitalno kamero (Intergraph Z/I DMC), ki je bila prvič uporabljena leta 2006, ko je bila celotna Slovenija v enem letu posneta v barvnem RGB in infrardečem spektru.

3 Digitalni ortofoto in digitalna fotogrametrija v gozdni inventuri

Razvoj tehnologije digitalnih ortofoto posnetkov in digitalne fotogrametrije sta omogočili popolnoma nov pristop k izdelavi sestojnih kart. V začetku devetdesetih let prejšnjega stoletja so bile s programskim orodjem R-WEL *Desktop Mapping system* (DMS) izdelane prve ortofoto karte (Hočevar in sod. 1994). Od takrat dalje so se te v gozdarstvu vse pogosteje uporabljale predvsem na področjih sestojnega kartiranja, organiziranja cikličnih gozdnih inventur in pri stratifikaciji gozdnih setojev. Slovenija je bila prvič v celoti prekrita z ortofoto posnetki leta 2001. V letu 2006 so na podlagi letalskih posnetkov, ki so bili posneti z digitalno kamero DMC, nastali novi ortofoto posnetki za celotno Slovenijo.

Z vpeljevanjem novih metod v gozdno inventuro je ZGS za potrebe gozdnogospodarskega in gozdnogojitvenega načrtovanja leta 1997 pričel z zbiranjem informacij o gozdnih sestojih. Da bi prikaz, natančnost in kakovost podatkov o stanju gozda poenotili za območje celotne Slovenije, je bil leta 1998 izdan Pravilnik o gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtih, ki določa vsebino izdelanih sestojnih kart. Od takrat dalje so bile v okviru gozdnogospodarskega načrtovanja vsako leto izdelane sestojne karte za eno desetino Slovenije. Tako so bile leta 2007 izdelane in preverjene v geografskem informacijskem sistemu sestojne karte za 236 gozdnogospodarskih enot. Čeprav so bili pri izdelavi teh kart kot temeljna podlaga uporabljeni digitalni ortofoto posnetki in terenski pregledi razmejenih sestojev, pa te karte ne podajajo konsistentno podrobnih informacij o trenutnem stanju gozda in ne omogočajo sprotnega ocenjevanja sprememb v zgradbi gozdnih sestojev. Še vedno ostaja nerešen tudi problem vzdrževanja sestojnih kart (Matijašić in Šturm 2006).

Digitalni ortofoto posnetki so tako postali izhodišče sestojnim in ostalim tematskim kartam v gozdarstvu in hkrati nudijo tudi možnost sodelovanja med načrtovalci na različnih področjih prostorskega planiranja. V številnih študijah (Hočevar s sodelavci 1994, Kušar in Hočevar 2000, Skudnik 2007) je bil prikazan postopek izboljšav in prilagoditev tehnik digitalne fotogrametrije, fotointerpretacije in tehnologije GIS pri izdelavi zbirk podatkov o sestojnih kartah. V tem obdobju je izdelavo sestojnih kart omogočala integracija tradicionalnih analognih in računalniških fotogrametričnih tehnik, ki so jih s podobnim konceptom opisali tudi Welch s sodelavci (2002). Da lahko fotointerpretator pravilno oceni in interpretira spremembe v zgradbi sestojev, mora gozd opazovati v stereomodelu, pri razmejevanju pa so mu v pomoč tudi meje gozdarskih odsekov. Analogne letalske posnetke opazuje v stereomodelu in sestojem oceni razvojno fazo, zastornost krošenj ter prostorsko razporeditev in sestavo drevesnih vrst.

Pred pričetkom fotointerpretacije je bilo tako potrebno letalske posnetke prekriti s prosojnicami in na njih označiti robne oznake in kontrolne točke. Prosojnice, na katerih so bili izrisani razmejeni sestoji, so bile nato skenirane z namiznim skenerjem z ločljivostjo 42 µm. Vse označene točke in meje razmejenih sestojev so bile po tem postopku pretvorjene v rastrsko sliko, parametri, pridobljeni iz diferencialne rektifikacije skeniranih letalskih posnetkov, pa so bili uporabljeni še za transformacijo skeniranih prosojnic. Po rektifikaciji so bili skenirani rasterski podatki transformirani v vektorski format, sestojna karta pa dokončno oblikovana v okolju GIS.

V začetku devetdesetih let, ko je bil pri izdelavi digitalnih ortofoto posnetkov uporabljen DMR100, so bile vrednosti RMSE za ortofoto posnetke manjše od 7 metrov, taka pozicijska natančnost sestojnih kart pa je bila za takratno obdobje sprejemljiva (Hočevar s sodelavci 1994). Kasneje smo lahko dosegli

podobno natančnost, kot so jo navajali v svojih ocenah geodetski strokovnjaki in je bila primerljiva s pozicijsko natančnostjo temeljnih topografskih načrtov (Kosmatin Fras 2004). Danes je v prvem poročilu GURS navedeno, da je pozicijska napaka novih ortofoto posnetkov manjša od 0,5 metra (Prešeren 2007). Na žalost so gozdarski strokovnjaki doslej le redko uporabili zgoraj opisan postopek, ki je z uporabo namiznih stereoskopov in tehnologijo digitalnih ortofoto posnetkov omogočal učinkovito operativno delo.

Doslej so v slovenskem gozdarstvu tehnologijo digitalnega stereoploterja uporabljali le redki raziskovalci, ker pa so gozdarski strokovnjaki pri izdelavi sestojne karte v zadnjem desetletju usvojili tudi tehnologijo geografskih informacijskih sistemov, se za vzdrževanje te karte ponujajo nove možnosti. V okviru študije smo z digitalnim stereoploterjem kanadske družbe ISM (*Digital Images Analytical Plotter* – DIAP) in novih digitalnih letalskih posnetkov izdelali sestojni karti za dve testni območji na Pokljuki (172,98 ha) in v Leskovi dolini na Postojnskem (186,78 ha). Stereoploter oziroma njegova nadgradnja podjetja DAT/EM *Systems* omogočata opazovanje stereomodela ter kartiranje neposredno v prostorskem modelu posnetega terena, z neposredno povezavo v okolju geografskega informacijskega sistema ArcGIS pa je omogočeno tudi operativno vzdrževanje baze prostorskih podatkov o gozdnih sestojih.

4 Vzdrževanje sestojnih kart in izhodišča za oceno njihove kakovosti

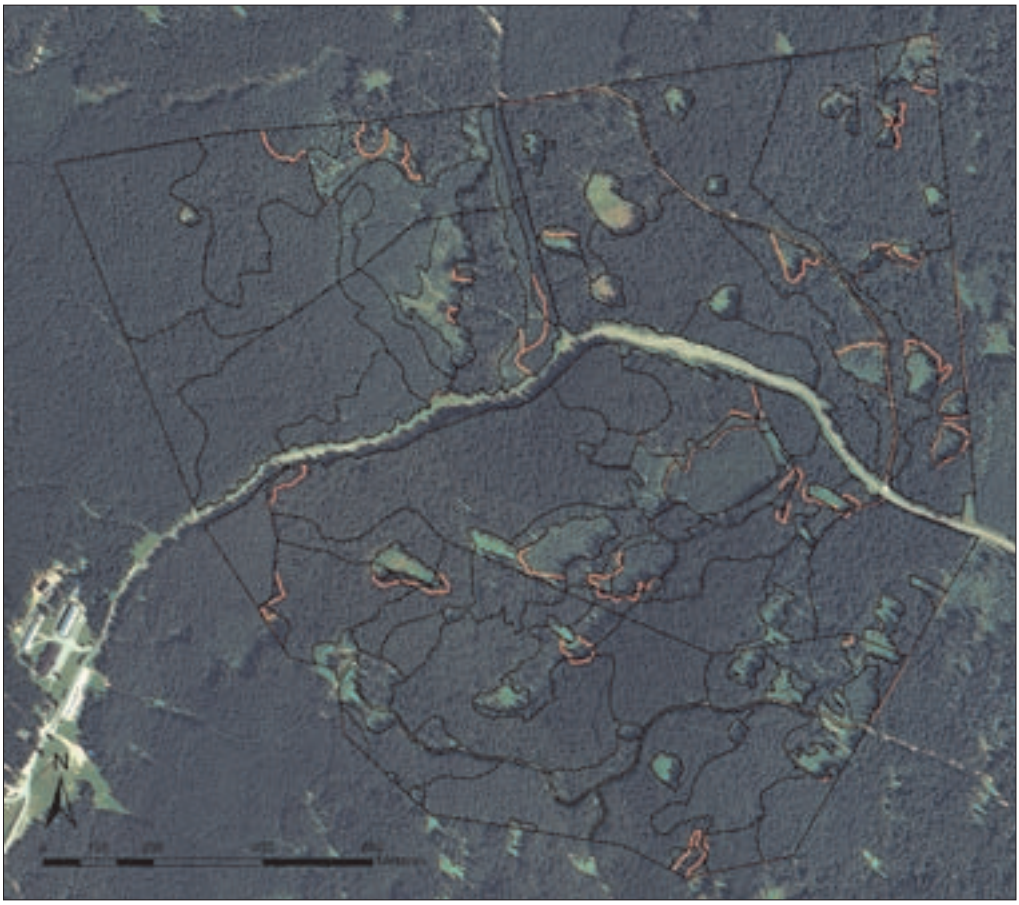
Na podlagi digitalnih letalskih posnetkov iz leta 2006 smo prikazali možnosti vzdrževanja sestojne karte za testno območje na Pokljuki (slika 2) in izdelali novo sestojno karto za testno območje v Leskovi dolini. Prostorske podatke o sestojnih kartah, ki so bile izdelane na ZGS, smo na podlagi podatkov digitalnega modela višin DMV25 transformirali v stereomodel. Na Pokljuki smo zaradi dobrega ujemanja med stanjem na stari sestojni karti in stanjem na našem stereomodelu popravili le tiste linije, kjer so se meje sestojev spremenile ali so bile napačno kartirane in s tem prikazali možnosti vzdrževanja sestojnih kart. Pri kartiranju sestojev smo upoštevali minimalno površino 0,5 ha, le za površine mladega gozda (mladovja) in začetke pomlajevanja smo predlagali manjšo minimalno površino 0,1 ha.

Dopolnjeno in novo izdelano sestojno karto smo primerjali s kartama Zavoda za gozdove Slovenije in o njuni kakovosti sklepali tudi po določilih standarda ISO 19113, ki jih je predstavil Šumrada (2005). V tem prispevku podajamo le izhodišča, na podlagi naslednjih osnovnih elementov kakovosti prostorskih podatkov:

Izvor podatkov podaja celotno zgodovino življenjskega ciklusa prostorskih podatkov in je povzetek preteklih obdelav podatkov podatkovnega niza. Za sestojni karti smo slednje preverjali v gozdnogospodarskih načrtih gozdnogospodarskih enot, kjer za nobeno od sestojnih kart nismo zasledili informacij o času nastanka letalskih ali ortofoto posnetkov, ki so jih pri izdelavi karte uporabljali, kot tudi ne o značilnostih teh posnetkov ter uporabljenih metod dela.

Položajna natančnost podaja točnost lege objektov in smo jo ocenili izključno na objektih, ki jih je bilo mogoče na sestojni karti točno določiti in interpretirati (npr. gozdne ceste). Po pregledu celotne karte testnega območja smo ocenili, na katerem mestu je bilo odstopanje med vektorizirano linijo in robom ceste na ortofotu največje in to razdaljo izmerili. Na Pokljuki je bil največji odmik digitalizirane linije od roba ceste na ortofotu 4,5 m in v Leskovi dolini 7,1 m.

Tematska natančnost podaja zanesljivost klasifikacije in pravilnost opisnih atributov o sestojni karti. Tematsko natančnost sestojnih kart smo ocenjevali na dva načina. V prvem primeru smo preko sestojne karte položili sistematično gridno mrežo velikosti 100×100 metrov in v vsakem presečišču mreže atributne podatke stare sestojne karte primerjali z novimi. Na Pokljuki se od 167 kontrolnih točk karti nista ujemali le v šestih. V Leskovi dolini so se od 167 kontrolnih točk atributni podatki ujemali le v treh, kar je posledica povsem drugačne sestojne zgradbe, ki so jo gozdarski strokovnjaki ocenili za posamično do šopasto raznomerno (tudi prebiralno). V takih sestojih po Pravilniku … (1998) ni potrebno ocenjevati tudi drugih sestojnih znakov. V drugem primeru smo primerjali število sestojev (poligonov),



Slika 2: Primer sestojne karte za testno območje na Pokljuki (s črno so označene meje sestojev iz leta 2005 in z rdečo meje sestojev iz leta 2007) (Vir podatkov: Digitalni ortofoto (DOF5), Geodetska uprava RS 2006; Zavod za gozdove Slovenije).

ki so bili pri stari sestojni karti opisani z atributnim podatkom razvojne faze mladovja, s številom sestojev mladovja na naši sestojni karti. Na Pokljuki je bilo ujemanje 98 % in v Leskovi dolini 12 %.

Časovna natančnost podaja točnost časovnih atributov in odnosov med objekti na sestojni karti. Sestojna karta na Pokljuki je nastala v letu 2005 in pri kartiranju je ZGS uporabljal ortofoto posnetke iz leta 1998 in delno digitalne barvne letalske posnetke iz leta 2004 (posebno snemanje po naročilu ZGS). Karta je bila izdelana za obdobje od leta 2006 do leta 2015. V Leskovi dolini je ZGS karto izdelal v letu 2003 in pri izdelavi uporabil ortofoto posnetke iz leta 1999. Karta je bila izdelana za obdobje od leta 2004 do leta 2013.

Logična usklajenost prostorskih podatkov je opis stopnje strukturne celovitosti podatkovnega niza glede na predpisano celovitost. Posebej opozarjamo na neenotno obravnavo gozdnih cest, kajti na Pokljuki so gozdne ceste na sestojni karti izločene in površina sestojev v testnem območju je zmanjšana za površino gozdnih cest, v Leskovi dolini gozdnih cest na sestojni karti niso posebej izločili. V obeh primerih so objekti na sestojni karti relacijsko povezani z atributnimi podatki v bazi, slabost je le podajanje atributnih podatkov o gozdnih sestojih, ki se nanašajo na večje skupine poligonov.

Popolnost prostorskih podatkov opisuje stopnjo skladnosti prostorskega podatkovnega niza s stanjem v naravi. Pri obeh sestojnih kartah prostorski podatkovni niz prekriva celotno testno območje. Na Pokljuki vsebuje sestojna karta vse atributne podatke, ki jih za sestoje določa Pravilnik … (1998), posebej tudi oceno o mešanosti drevesnih vrst. V Leskovi dolini pri 80 % sestojev manjka ocena sestojnega sklepa, kar je sicer skladno s Pravilnikom … (1998), ki za tamkajšnje gozdne sestoje te ocene ne predpisuje.

5 Sklep

Za testna območja smo izbrali dve povsem različni zgradbi gozdov, kajti tako je bilo mogoče najbolje opozoriti na velike razlike v načinu ocenjevanja sestojnih značilnosti na Slovenskem in zlasti na omejitve, ki jih postavlja vizualna intrepretacija digitalnih ortofoto posnetkov. Na Pokljuki prevladujejo enomerni gozdni sestoji smreke, razlike med njimi so prepoznavne tudi brez stereoskopskega opazovanja. Ker imajo gozdarski načrtovalci bogate izkušnje pri kartiranju gozdnih sestojev in predstavlja novejša karta že četrto ponovitev takega kartiranja po letu 1976, so se znali prilagoditi tudi omejitvam, ki jih pri kartiranju na ortofoto posnetkih predstavljajo drevesa na gozdnih in sestojnih robovih. Povsem drugače je v nekdanjih jelovo-bukovih gozdovih na visokem krasu, kjer je brez stereoskopskega opazovanja težko določiti razvojne stadije gozdnih sestojev, ocenjevati sklenjenost drevesnih krošenj in določiti majhne pomladitvene površine, ocenjevanje mešanosti listavcev in iglavcev v sestojih pa je zanesljivo le, če sestoje ocenjujemo na infrardečih barvnih posnetkih.

Pričakujemo, da bo mogoče tehnologijo digitalnega stereoploterja uporabiti tudi pri operativnem delu gozdarskih strokovnjakov ob prvi obnovitvi sestojnih kart, ki bo potekala ob rednem 10 letnem ciklu obnove gozdnogospodarskih načrtov. Na današnji ravni tehnološkega razvoja je odveč utemeljevati, kako nujno je opazovati letalske posnetke v stereoskopskem modelu. Predlagamo le, da izkoristimo nove možnosti, ki jih ponujajo tehnologija digitalnih aerosnemanj Slovenije, dosedanje izkušnje gozdarskih načrtovalcev s tehnologijo GIS in nove možnosti za neposredno povezavo s tehnologijo digitalnega stereoploterja.

6 Viri in literatura

DAT/EM Systems – Summit EvolutionT 2007: Operation Manual. Anchorage.

Diaci, J. 2006: Nature based silviculture in Slovenia: origins, development and future trends. Nature-based forestry in Central Europe: alternatives to industrial forestry and strict preservation. Studia forestalia Slovenica 126. Ljubljana.

Golob, A. 2006: Izhodišča za monitoring ohranjenosti gozdnih habitatnih tipov in habitatov vrst na območjih Natura 2000 v Sloveniji. Monitoring godpodarjenja z gozdom in gozdnato krajino. Studia forestalia Slovenica 127. Ljubljana.

Hočevar, M., Hladnik, D. 2006: Development of forest monitoring methods for sustainable forest management in Slovenia. Nature-based forestry in Central Europe: alternatives to industrial forestry and strict preservation. Studia forestalia Slovenica 126. Ljubljana.

Hočevar, M., Hladnik, D., Kovač, M. 1994: Verwendung digitaler Orthophotokarten fuer die forstliche Bestandeskartierung. Photogrammetrie & Forst – Stand der Forschung und Anwendungen in der Praxis. Freiburg iBR. Albert-Ludwigs-Universitatet Freiburg, Forstwissenschaftliche Fakultatet, Abt. Luftbildmessung und Fernerkundung. Freiburg.

Kosmatin Fras, M. 2004: Vpliv kakovosti vhodnih podatkov na kakovost ortofota (Influence of input data quality on the quality of orthophoto). Geodetski vestnik 48-2. Ljubljana.

Kovač, M. 2002: Large-Scale Strategic Planning for Sustainable Forest Development. Diss. ETH, No. 14722.

Kušar, G., Hočevar, M. 2000: Fototerestrična inventura gozda. Zbornik gozdarstva in lesarstva 62. Ljubljana.

Matijašić, D., Šturm, T. 2006: Sestojna karta Slovenije. Monitoring godpodarjenja z gozdom in gozdnato krajino. Studia forestalia Slovenica 127. Ljubljana.

Poljanec, A. 2005: Analiza obravnavanja sestojev kot inventurnih in načrtovalnih enot v gozdarskem načrtovanju. Magistrska naloga, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. Ljubljana.

Pravilnik o gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtih. 1998. UL RS 5/1998.

Prešeren, P. 2007: Slovenija po novem v celoti v barvah. Geodetski vestnik 51-3. Ljubljana.

Skudnik, M. 2007: Tehnologija izdelave in vzdrževanja karte gozdnih sestojev. Diplomska naloga, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. Ljubljana.

Šumrada, R. 2005: Strukture podatkov in prostorske analize. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo. Ljubljana.

Welch, R., Madden, M., Jordan, T. 2002: Photogrammetric and GIS techniques for the development of vegetation databases of mountainous areas: Great Smoky Mountains National Park. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 57.

ZGS 2008a: Splošni podatki in dejstva o gozdovih v Sloveniji. Medmrežje: http://www.zgs.gov.si/slo/gozdovi-slovenije/index.html (27. 2. 2008).

ZGS, 2008b: Lastništvo gozdov. Medmrežje: http://www.zgs.gov.si/slo/gozdovi-slovenije/o-gozdovih-slovenije/lastnistvo-gozdov/index.html (27. 2. 2008).

ANALIZA KAKOVOSTI SESTOJNE KARTE SLOVENIJE

Tomaž Šturm
Zavod za gozdove Slovenije
tomaz.sturm@zgs.gov.si

*UDK: 630*56(497.4)*
*528.94:630*56*
COBISS: 1.17

IZVLEČEK
Analiza kakovosti Sestojne karte Slovenije
Izdelava Sestojne karte Slovenije je bila zaključena leta 2007. Karta je rezultat desetletnega dela slovenskega gozdarstva in vsebuje številne podatke o stanju gozda oz. sestojev: površino, lesno zalogo, drevesno sestavo …
Uporabniki sestojne karte bodo poleg gozdarjev tudi lastniki gozdov, prostorski načrtovalci, vladne službe za varstvo narave in drugi. Za vse uporabnike je zelo pomembna njena kakovost. Po končani izdelavi karte je bila izdelana dejanska ocena kakovosti na osnovi ISO standardov: ISO 19113:2002 GI – kakovostna načela in ISO 19114:2003 GI – postopki za ocenjevanje kakovosti, ki opredeljujeta poenoteni kakovostni model in metodologijo za določanje kakovosti prostorskih podatkov.

KLJUČNE BESEDE
sestojna karta, sestoj, gozdnogospodarsko načrtovanje, ocena kakovosti, kakovostni model

ABSTRACT
Quality assessment of Forest stand map of Slovenia
Forest stand map of Slovenia was completed in 2007 and is a result of a 10-year work of more than 100 Slovenian forest professionals. It contains many data about the forest condition, such as area, growing stock, tree composition, etc.
Users of forest the stand map are foresters and forest owners, landscape planners, The Institute of the Republic of Slovenia for Nature Conservation, and many others, who want to have a quality map. So, after completing the map, quality evaluation was performed. Quality evaluation observed the requirements of ISO standards: ISO 19113:2002 GI defining quality principles and ISO 19114:2003 GI defining the procedures for quality evaluation.

KEY WORDS
forest stand map, forest stand, forest management planning, quality evaluation, quality model

1 Uvod

Zavod za gozdove Slovenije skladno z Zakonom o gozdovih izdeluje gozdnogospodarske načrte po gozdnogospodarskih enotah. Celotna Slovenija je bila za potrebe urejanja gozdov po predlogu A. Žumra leta 1948 razdeljena na 14 gozdnogospodarskih območij (v nadaljevanju GGO) in na enote nižjega reda – gozdnogospodarske enote (v nadaljevanju GGE), ki so sicer po nastanku starejšega izvora (Gašperšič 1995, 403). Slednje so z notranjo razčlenitvijo razdelili na oddelke in odseke. Zbiranje podatkov o značilnostih gozdov po oddelkih oz. odsekih, ki je bilo v veljavi vse od sredine petdesetih let dvajsetega stoletja, danes ne zadostuje več. Zato se je z začetkom veljavnosti Pravilnika o gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtih (v nadaljevanju Pravilnik) začelo z izdelavo sestojnih kart za gozdnogospodarsko načrtovanje oziroma izdelavo gozdnogospodarskih načrtov GGE (Matijašić in Šturm 2006, 74).

Gozdni sestoji nam dajo najobsežnejše podatke o stanju gozda, hkrati pa so tudi osnovne celice načrtovanih ukrepov. Členitev na posamezne sestoje je odvisna od strukture gozda in intenzivnosti gospodarjenja v preteklosti, na kvaliteto njihovega zajema pa vplivajo številni dejavniki (merilo kartnih osnov, usposobljenost popisovalca ipd.). V procesu gozdnogospodarskega načrtovanja so tako prostorsko opredeljeni gozdni sestoji inventurne enote ter hkrati tudi načrtovalne enote. Podrobno načrtovanje razvoja gozdov na ravni sestojev poteka sočasno z inventuro stanja gozdov pri tako imenovanem »opisu sestojev«. Vzporedno z inventuro stanja sestoje gozdnogojitveno diagnosticiramo in se – tudi na podlagi smernic z višje ravni – odločimo za ustrezne ukrepe (Matijašić in Šturm 2006, 74).

Sestoj je prostorska enota, ki se po določenih znakih razlikuje od okolice. Gozdni ekologi se pri opredelitvi pojma naslanjajo predvsem na razlike v zgradbi in funkcioniranju posameznega dela gozda, v opredelitvah s področja gojenja gozdov in gozdnogospodarskega načrtovanja pa je pogosto izražena tudi zahteva po enotnem gozdnogojitvenem ukrepanju (Poljanec 2005, 15). Sestoj je del gozda oz. kolektiv dreves, ki je enoten glede vrstne sestave, starostne zgradbe, vertikalne zgradbe, razvojen stopnje in ima izoblikovano sestojno klimo ter zahteva enotno gozdnogojitveno obravnavo (Kotar 2005, 149). Pri vseh opredelitvah sestoja je izražen površinski značaj ter razlikovanje sestoja od njegove okolice.

2 Postopek izdelave sestojne karte

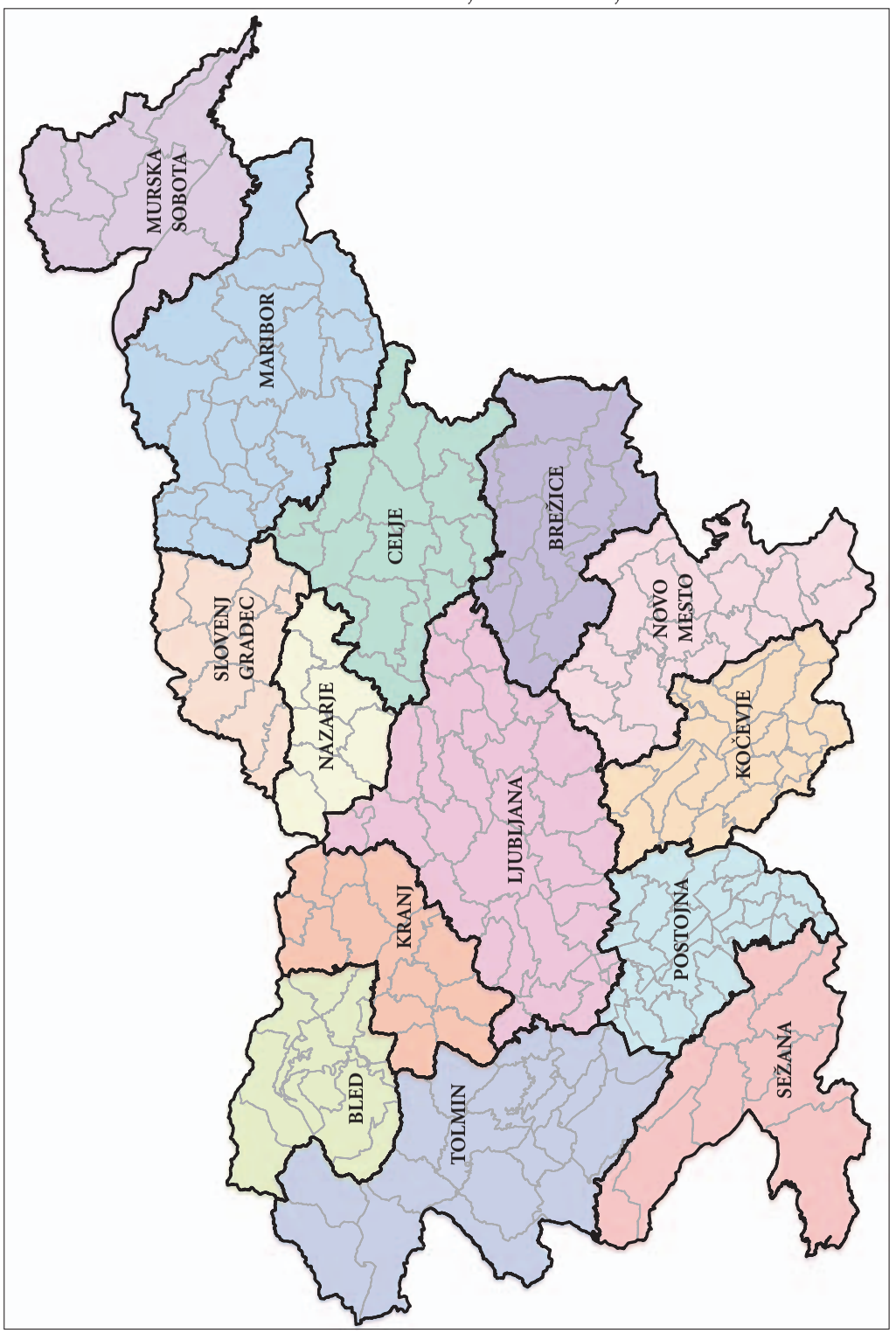
Slovenijo sestavlja 14 GGO, ki so razdeljene na 235 GGE, po katerih se izdelujejo opisi sestojev (slika 1). Z izdelavo sestojne karte so na Zavodu za gozdove Slovenije (v nadaljevanju ZGS) začeli leta 1998 po spodaj opisanih postopkih z vsemi pripadajočimi podatki o stanju sestojev. Vsako leto so izdelali desetino sestojne karte (24 GGE) za celotno Slovenijo. Karta se je izdelovala po GGE z obnovo gozdnogospodarskega načrta. Tako je bila po desetih letih v letu 2007 zaključena obnova vseh GGE v Sloveniji in zbrani vsi podatki o sestojih. Sledilo je še združevanje vseh opisov sestojev na ravni Slovenije, kontrola oznak sestojev atributnega in grafičnega dela, odprava topoloških napak in prva sestojna karta Slovenije je bila narejena.

Vseh opisov sestojev v atributnemu delu, ki so razdeljeni po lastništvu, ki se deli na državno, občinsko in zasebno, je 346.049, v grafičnem delu, ki ni razdeljen po lastništvu, pa jih je 297.425.

Zavod za gozdove Slovenije načrtuje v letu 2008 tudi javni dostop do določenih podatkov (razvojna faza, leto zajema podatkov, delež lesne zaloge iglavcev in listavcev) sestojne karte prek medmrežja (http://rkg.gov.si/GERK/viewer.jsp).

Sestojna karta se izdeluje ločeno za grafični in atributni del, za potrebe prostorskih analiz se podatki povežejo preko identifikacijskega ključa, ki je sestavljen iz šifre GGO, oznake odseka in oznake sestoja (13. mestna oznaka). Način pridobivanja podatkov je opisan v nadaljevanju.

Slika 1: Razdelitev Slovenije na GGO in GGE ►


MURSKA SOBOTA
MARIBOR
CELJE
BREŽICE
SLOVENJ GRADEC
NAZARJE
NOVO MESTO
KOČEVJE
LJUBLJANA
KRANJ
POSTOJNA
BLED
TOLMIN
SEŽANA

Slika 2: Obrazec Zavoda za gozdove Slovenije za vpisovanje podatkov o sestojih. ►

Grafični del podatkov opisov sestojev se pridobiva z neposrednim opisovanjem na terenu oz. iz gozdnogojitvenih načrtov ter iz digitalnih orto foto posnetkov merila 1 : 5.000 (v nadaljevanju DOF 5). Več prostorsko ločenih sestojev je mogoče opisati z enim samim opisom.

Postopek izdelave sestojne karte je naslednji:

- 1. po določitvi mej GGE, za katero se karta izdeluje, se najprej ugotovi, katere DOF5 potrebujemo,
- 2. na DOF5 se v grobem izločijo dobro vidne meje sestojev ter izdela karte, ki so primerne za terensko delo (Takšne karte vsebujejo DOF5, na katerih so izrisane meje oddelkov oz. odsekov GGE, pa tudi meje tistih sestojev, ki jih je uspelo na DOF5 nedvoumno določiti že v pisarni.),
- 3. popisovalec opisov sestojev s kartami na podlagi terenskega ogleda dopolni meje sestojev, po potrebi na karto vriše tudi nove meje sestojev ter hkrati vpiše atributne podatke po sestojih,
- 4. z metodo ekranske vektorizacije se terenska sestojna karta prenese v digitalno obliko.

Skladno s Pravilnikom se pri opisu sestojev zajema podatke o stanju sestojev: površino, lesno zalogo na hektar, delež drevesnih vrst glede na lesno zalogo, razvojno fazo oziroma zgradbo, delež podmladka, drevesno sestavo mladovja in podmladka glede na površino (tri najbolj zastopane drevesne vrste), sklep, zasnovo, negovanost (**atributivni del podatkov**). V gozdovih gospodarskih razredov, kjer se lesna zaloga ugotavlja z okularnim ocenjevanjem, se za skupine drevesnih vrst oceni tudi struktura lesne zaloge po debelinskih razredih. Pravilnik govori tudi o minimalni površini sestoja, ki naj bi praviloma ne bila manjša od 0,5 ha.

Popisovalec atributne podatke vpisuje s pomočjo posebnega šifranta v popisni list, ki je prikazan na sliki 2. Podatki iz popisnega lista se s pomočjo računalniškega paketa GNWIN vnesejo v osnovne podatkovne baze.

ZGS je hkrati s pripravo Pravilnika izdelal podatkovni model, ki je povzemal vse parametre, ki jih le ta zahteva. Tako so na posamezni gozdni sestoj »vezali« tri osnovne podatkovne zbirke:

- 1. Datoteka s podatki o značilnostih sestoja in načrtovanem možnem poseku vsebujejo zbrane podatke o razvojnih fazah sestojev, sklepu, negovanosti, pomlajeni površini, negovanosti ter lesni zalogi in prirastku, ločeno za iglavce in listavce. Zbirka hrani tudi podatke o smernicah za ukrepanje, predvidenih vrstah sečnje in načrtovanega možnega poseka (ločeno za iglavce in listavce). Za nekatere (mlajše) razvojne faze se v zbirko beležijo tudi podatki o zasnovi sestoja.
- 2. Datoteka s podatki o dendrometrijski strukturi sestoja zajema podatke o deležu drevesnih vrst po lesni zalogi ter njeni debelinski strukturi. Debelinska struktura se oceni na terenu le v primeru, če sestoj pripada gospodarskemu razredu, v katerem se lesna zaloga ocenjuje le okularno in v njem ni meritev na stalnih vzorčnih ploskvah. V isti datoteki so tudi podatki o strukturi prirastka ter o strukturi pomladka (če se pojavlja v sestoju).
- 3. Datoteka s podatki o načrtovanih gojitvenih in varstvenih delih vsebuje površino in intenziteto posameznih načrtovanih gojitvenih in varstvenih del v določenem sestoju. Pri tem si popisovalec pomaga tudi s posodobljenim gozdnogojitvenim načrtom (Matijašić in Šturm, 2006, 76 in 77).

3 Kakovostni model

Sestojna karta Slovenije kot digitalni prostorski podatek na računalniškem prikazu izgleda natančno in popolno. Potrebni pa so objektivni in poenoteni pokazatelji o njeni dejanski kakovosti in primernosti za načrtovano uporabo. Za ocenjevanje kakovosti prostorskih podatkov obstajajo mednarodni ISO standardi, ki opredeljujejo kakovostni model in osnovno metodologijo za določanje kvalitete.

V Sloveniji sta veljavna standarda ISO 19113:2002 – kakovostna načela in ISO 19114:2003 – postopki za ocenjevanje kakovosti. Elementi ISO standardnega kakovostnega modela se delijo na pet osnovnih (kvantitativnih) elementov kakovosti:

GGE ☐☐ **OPIS SESTOJA ŠT.** ☐/☐☐☐

Razvojna faza	Zasnova (ml., drog.)	Sklep	Pomladek		Negov.	Poreklo mladovja
			% površ.	zasnova		

Vrsta poseka

LZ (m^3/ha):		
	iglavci	listavci
I		
II		
III		
IV		
V		
	100	100

Drevesna sestava

DV																
% LZ																
ml., poml.: % pov.																

Drevesne vrste pod 1 % LZ: ☐☐ ☐☐ ☐☐ ☐☐ ☐☐ ☐☐ ☐☐

Ukrepi:

Odsek				Obl. last.		Možni posek %		Gojitvena in varstvena dela															
				šifra	%	iglavci	listavci	Ukrep			ha	%	p	Ukrep			ha	%		Ukrep			ha	%	p	Ukrep			ha	%	p

Usmeritev: _____ ☐☐

- podatkovna popolnost,
- logična usklajenost,
- položajna natančnost,
- časovna natančnost,
- tematska natančnost,

in tri pregledne (kvalitativne) elemente kakovosti:

- namen,
- uporaba,
- poreklo.

Osnovni elementi kakovosti imajo lahko določene podelemente, ki služijo za podrobnejšo opredelitev kakovosti podatkov v podatkovnem nizu (Šumrada 2005, 108):

- podatkovna popolnost podaja prisotnost ali odsotnost objektov, atributov ali relacij v podatkovnem nizu, v tem primeru sestojni karti:
- logična usklajenost podaja stopnjo skladnosti med pojmovnimi in logičnimi pravili podatkovnega modela ter strukturo podatkov v podatkovnem nizu;
- položajna natančnost podaja točnost lege v podatkovnem nizu vsebovanih objektov (odstopanje med lego slike pojava v podatkovnem nizu in njegovo dejansko lego v naravi);
- časovna natančnost podaja točnost časovnih atributov in časovnih odnosov med obravnavanimi objekti v podatkovnem nizu;
- tematska natančnost podaja zanesljivost izvedene klasifikacije objektov ter točnost kvantitativnih in pravilnost kvalitativnih opisnih atributov v podatkovnem nizu.

Dejansko oceno kakovosti določimo po dokončani izdelavi karte s primerjavo med terenskim pregledom ali drugim kakovostnejšim virom in s karte pridobljenimi podatki.

4 Analiza kakovosti prostorskih podatkov

Analiza kakovosti je narejena na podatkih o značilnosti sestoja in načrtovanem možnem poseku.

4.1 Podatkovna popolnost

Pri podatkovni popolnosti smo preverjali manjkajoče (prazna polja) in presežne vrednosti v posameznih poljih.

- 1. Izostanek vrednosti: Na podlagi pregleda zbranih podatkov na ravni sestoja smo ugotovili, da je veliko število zapisov v poljih ZASNOVA (29 %), SKLEP (8 %) in NEGOVAN (3 %), ki imajo vrednosti 0. V polju NVRSEC manjkajo šifre za posek za gozdno infrastrukturo, posek zaradi krčitev in posek brez odobritve, ki jih pri izdelavi GGN ne moremo predvideti, uporablja pa se jih za evidentiranje sprememb v času trajanja načrta
- 2. Nadštevilne vrednosti: V postopku analize se je pokazalo, da je v polju SKLEP zapisanih 73 vrednosti, ki niso skladne s Pravilnikom. Polje RFAZA pa dodatno vsebuje vrednost prebiralni gozd, ki podrobneje opredeljuje raznomerni sestoj in je zapisana 1719 krat.

Z upoštevanjem, da je v Pravilniku (UL RS 05/98 in 70/06) navedeno, da v določenih primerih za posamezen gozdni sestoj ni potrebno vpisovati vseh parametrov, je podatkovna popolnost sestojne karte ocenjena na 99 %.

4.2 Logična usklajenost

Pri logični usklajenosti smo analizirali skladnost zbranih podatkov s Pravilnikom, skladnost podatkov s tehničnimi specifikacijami ter pregledali topološko usklajenost podatkov.

- 1. Pomenska skladnost: Gozdni sestoji se za potrebe načrtovanja razmejuje in razvrščajo po posameznih znakih ali skupinah znakov v sestojne tipe. Z analizo velikosti obravnavanja sestojev pri gozdnogospodarskem načrtovanju smo potrdili pričakovanja, da je razmejevanje sestojev odvisno predvsem od strukture gozdnih sestojev, popisovalca, rastišča in intenzivnosti gospodarjenja z gozdovi. Poleg tega smo ugotovili, da na obravnavanje sestojev pomembno vpliva tudi tradicija gozdarskega načrtovanja v posameznem GGO (Poljanec, 2005, 85). Iz navedenega lahko sklepamo, da so v Sloveniji razlike med opisi sestojev, ki so pogojene z različnimi, ne vedno človeškimi, vplivi.
- 2. Domenska skladnost: Iz šifranta opisov sestojev je razvidno, da se zbira velika količina podatkov o gozdu, ki so v Pravilniku točno definirane, tip in dolžina polj pa je definiran s strani ZGS.

  Iz preglednice 1 je razvidno ime, opis, tip in dolžina polja za določanje posameznih značilnosti stanja gozdov, njihovega usmerjanja in spremljave. Z analizo smo ugotovili, da se zbirajo vsi podatki s točno določenimi vrednostmi za vsako polje skladno s Pravilnikom. Izjema je le polje NVRSEC, ki ima zapisane drugačne šifre, kot so podane v Pravilniku, imajo pa enak pomen.
- 3. Formatna skladnost: V procesu izdelave sestojne karte se je preverjalo ustreznost formatov vektorskih in numeričnih podatkov s tehničnimi specifikacijami, neskladnost numeričnih podatkov (manjkajoči podatki, neskladnost ID), ali je kakšen poligon brez pripadajočih numeričnih podatkov in obratno ter najmanjše površine zajema opisov sestojev. Pri analizi smo ugotovili, da so vsi podatki skladni s tehničnimi specifikacijami, opisi sestojev v atributnih podatkih se vodijo po lastništvih, kar

Preglednica 1: Struktura atributnih podatkov sestojne karte.

ime polja	opis	tip polja	dolžina polja	število decimalnih mest
GGO	GGO območje	C	2	0
ODSEK	odsek	C	7	0
SESTOJ	sestoj	C	4	0
SL	lastništvo	C	1	0
POVRSINA	površina (ha)	N	6	2
SKSMERNI	skupina gozdnogojitvenih smernic	C	2	0
RFAZA	razvojna faza oz. zgradba sestoja	C	2	0
ZASNOVA	sestojna zasnova	C	1	0
SKLEP	sklep	C	1	0
POMPOV	površina pomladka (ha)	N	6	2
POMZAS	zasnova pomladka	C	1	0
NEGOVAN	negovanost	C	1	0
NVRSEC	načrtovana vrsta sečnje	C	3	0
LZIGL	lesna zaloga iglavcev	N	6	0
LZLST	lesna zaloga listavcev	N	6	0
4PRIGL	prirastek iglavcev	N	6	2
PRLST	prirastek listavcev	N	6	2
ETIGL	etat iglavcev	N	5	0
ELST	etat listavcev	N	5	0
METODA	metoda ugotavljanja lesne zaloge	C	1	0
DRUGO1		C	2	0
DRUGO2		C	2	0
STATUS		C	1	0
SPREMEMBA	šifra popisovalca in datum spremembe	C	11	0

pa ne velja za grafični prikaz. Povezljivost med grafičnimi in atributnimi podatki je 1 : M, ko pa atributne podatke združimo po identifikacijskem ključu, dobimo zapise, ki ima svojo ekvivalentno prostorsko prikazano lokacijo. Preverjanje velikosti poligonov smo naredili v skladu Pravilnikom, ki govori o najmanjši površini sestoja, ki praviloma ni manjša od 0.5 ha. Pri analizi pa smo ugotovili, da je površin, ki so manjše od predlaganih, 15 %. Ker pa je v skladu s Pravilnikom mogoče več prostorsko ločenih sestojev opisati z enim samim opisom, smo preverili tudi te površine, analiza je pokazala, da so manjše tudi od 100 m^2 in sicer jih je 6 %.

- 4. Topološka skladnost: Preverjali smo, če so vsi poligoni v vektorskih podatkih zaključeni ter če se pojavljajo prekrivanja in/ali vrzeli med njimi. Analiza je pokazala, da so vsi poligoni zaključeni in pokrivajo celoten prostor brez prekrivanja ali vrzeli med njimi. Karta je topološko pravilno izdelana in kot taka brez napak.

Atributni del podatkov dosega veliko skladnost s Pravilnikom, medtem ko je pri grafičnem delu največja pomanjkljivost preveliko število premajhnih površin. Če predpostavimo, da je 100 m^2 najmanjša površina, na kateri še lahko naredimo kvalitetne opise sestojev, je logična usklajenost sestojne karte vsaj 94 %.

4.3 Položajna natančnost

Sestojna karta je 2D predstavitev prostora, v katerem je pomembna horizontalna položajna natančnost koordinat X in Y, ki se nanaša na točnost obrisov objektov v horizontalni legi.

Podatki o opisih sestojev se zajemajo na podlagi terenskega ogleda z metodo računalniško podprte fotointerpretacije, pri čemer se kot podlaga uporabljajo posnetki iz zraka, ki so vpeti v državni koordinatni sistem (z ločljivostjo najmanj 1 meter). Edini vir zajema podatkov je DOF 5, katerega pozicijska natančnost znaša ± 1,0 m (srednji pogrešek) (GURS 2007). Na kakovost DOF 5 pa ima zelo velik vpliv natančnost digitalnega modela višin (Kosmatin Fras, 2004, 171). Tako je Radovan s sodelavci (2000, po Kosmatin Fras 2004, 176) natančnost novejših podatkov DOF 5 v merilu 1 : 25.000 na odprtem terenu ocenili na 0,5 do 2 m, v gozdu pa zaradi težav z interpretacijo in vidnostjo tal na 3 do 5 m, lahko tudi 10 m ali več. Tej natančnosti se najlaže približamo na pretežno ravnem in odprtem terenu. Zelo pa so problematična gozdna, gosto poseljena in gorata območja (Kosmatin Fras 2004, 175).

Iz zgoraj navedenega lahko sklepamo, da je tudi položajna natančnost sestojne karte največ enaka ocenjeni natančnosti DMV v gozdu, kar pomeni, da je natančnost karte največ 7m.

4.4 Časovna natančnost

Časovno natančnost smo analizirali glede na datum izdelave opisov sestojev po GGE, frekvenco obnavljanja in glede na spremembe gozda skozi čas.

Splošni del gozdnogospodarskega načrta se izdeluje za obdobje desetih let in za isto obdobje se zajemajo tudi podatki o sestojih. Preverili smo, ali so se opisi sestojev po GGE izdelovali skladno s programom obnove. Prve sestojne karte za posamezno GGE so bile izdelane že leta 1998, zadnje pa leta 2007 in so izdelane skladno s programom obnove. Iz tega sledi, da je povprečna starost sestojne karte 5 let. Frekvenca obnavljanja podatkov je približno 10 % Slovenije vsako leto.

Gozd, kot osnovni predmet sestojne karte, pa se v desetih letih ne spremeni prav veliko. Izjeme so grobi posegi človeka kot so krčitve, nedovoljeni goloseki, preseke zaradi daljnovodov, cestnega omrežja ali pa nepričakovane in uničujoče naravne ujme (požari, vetrolomi, snegolomi). Te spremembe so lahko tako velike, da se gozdnogospodarski načrt dopolni, ko sprememba nastopi in ne šele pri obnovi. Gozdnim sestojem, kot trajnim prostorskim objektom, ki imajo fiksno lego, pa se s časom spreminjajo vrednosti atributov kot je npr. zgradba sestoja.

Iz Poročil ZGS za leti 1998 in 2007 smo s primerjavo podatkov ugotovili, da se je površina gozdov v zadnjih 10-ih letih povečala za 73.621 ha ali 7 %. Drevesna sestava gozdov po drevesnih vrstah se je

v zadnjih 10-ih letih spremenila za manj kot 2 %. Pri tej analizi podatkov se je potrebno zavedati, da je delež teh sprememb nastal tudi kot posledica novega načina zajema podatkov oz. naprednejših tehnologij.

Upoštevajoč spremembo načina zajemanja podatkov, lahko podamo nezanesljivo matematično oceno, ki predstavlja časovno natančnost boljšo od 91 %.

4.5 Tematska natančnost

Pri tematski natančnosti smo analizirali razlike med GGE pri zajemanju in prikazovanju gozdnega in negozdnega prostora ter preverili skladnost karte gozdnih odsekov in sestojne karte.

Analiza je pokazala, da obstajajo velike razlike med GGE pri izločanju gozdnih prometnic iz gozdnega prostora. Takih GGE je 97, kar predstavlja 41 % vseh GGE, vpisano imajo tudi šifro za gozdno prometnico. Vseh GGE, ki imajo izločene gozdne prometnice, te pa v vseh primerih niso posebej označene, je 107 (45 %). Razlike med zajemanjem negozdnega prostora se pokažejo pri (ne)skladnosti karte gozdnih odsekov in karte sestojev. Iz opisov sestojev tistih GGE, kjer je pravilno zajet tudi negozdni prostor, lahko enostavno izdelamo karto gozdnih odsekov z združevanjem sestojev v odsek. Teh GGE je 201, ostale enote pa vodijo negozdni prostor kot en poligon ali pa meje negoznega prostora odstopajo od mej odsekov (15 %). Iz tega tudi izhaja neskladnost med kartama, ki jo lahko pripišemo predvsem različnim načinom pojmovanja in zajemanja opisov sestojev v začetku nastajanja sestojne karte leta 1998.

Pri oceni tematske natančnosti smo ugotovili, da obstajajo velike razlike med GGE pri izdelavi sestojne karte, predvsem pri prikazovanju negozdnega prostora, ki pa ne vplivajo bistveno na samo sestojno karto, in jo lahko ocenimo na največ 85 %.

5 Sklep

Združena ocena kakovosti Sestojne karte Slovenije po osnovnih elementih je prikazana v preglednici 2.

Preglednica 2: Združena ocena kakovosti sestojne karte Slovenije.

element kakovosti	ocena kakovosti
horizontalna položajna natančnost (X, Y)	7 m
tematska natančnost	85 %
časovna natančnost	91 %
logična usklajenost	94 %
podatkovna popolnost	99 %

Položajna natančnost sestojne karte je odvisna predvsem od kvalitete DOF5 (kvalitete DMV), ki se z leti izboljšuje, in od napak v natančnosti interpretacije. Upravičeno lahko verjamemo, da bo sestojna karta z vsakoletno obnovo pozicijsko bolj natančna, ker so novejši DOF 5 boljši, pa tudi interpretatorji so vedno bolj izkušeni.

Najbolj problematična je tematska natančnost karte, ki odraža različne zgodovinske pristope k izdelavi opisov sestojev. Potrebno bo poenotiti, po zgledu atributnih podatkov, zajemanje in prikazovanje negozdnega prostora in gozdnih prometnic ter predpisati najmanjše površine zajema opisov sestojev. Nad temi vrednostmi bo potrebno izvajati kontrolo in vse nepravilnosti odpraviti že v postopku izdelave sestojne karte. Pri analizi smo odkrili tudi veliko število multipoligonov (40 %) in potrebno bi bilo temeljito razmisliti ali jih je sploh smiselno zajemati ali pa se jim enostavno odpovedati.

Rezultati ostalih elementov kakovosti pa nam potrjujejo kakovostno izdelavo sestojne karte. V atributnih podatkih je veliko zapisov brez vrednosti, ki niso napake, saj so dopuščene skladno s Pravilnikom. Dejstvo pa je, da nam (ne)vrednosti siromašijo kakovost zbranih podatkov in v določenih primerih onemogočajo kakovostne analize po določenih parametrih.

Če rezultate analize interpretiramo po letnicah izdelave opisov sestojev za posamezno GGE (1998–2007) ugotovimo, da so največja odstopanja med GGE, ki so bila narejena v letih 1998–1999. V času do današnjih dni se je zgodil velik napredek na področju zajemanja podatkov, zato lahko z gotovostjo trdimo, da bo karta z vsako obnovo bolj kakovostna. Predvsem se bo izboljšala tematsko natančnost.

Analiza kakovosti je pokazala, da je sestojna karta velik tehnološki dosežek slovenskega gozdarstva, je kakovostno izdelana in nam omogoča podroben vpogled v stanje gozdov na mikro ravni. Uporabnost karte presega njen osnovni namen izdelave za gozdnogospodarsko in gozdnogojitveno načrtovanje in se bo pokazala šele v prihodnjih letih kot eno ključnih informacijo o gozdnem prostoru.

6 Viri in literatura

Gašperšič, F. 1995: Gozdnogospodarsko načrtovanje v sonaravnem ravnanju z gozdovi. Ljubljana.

Kosmatin Fras, M. 2004: Vpliv kakovosti vhodnih podatkov na kakovost ortofota, Geodetski vestnik 48-2. Ljubljana.

Kotar, M. 1994: Gojenje gozdov: ekologija gozda in gozdoslovje. Ljubljana.

Matijašić, D., Šturm, T. 2006: Sestojna karta Slovenije. Gozdarski študijski dnevi, Monitoring gospodarjenja z gozdom in gozdnato krajino. Ljubljana.

Medmrežje 1: http://www.geodetska-uprava.si/gu/aplik/CEPP/index.jsp (25. 1. 2008).

Petrovič, D. 2006: Ocena kakovosti državne topografske karte v merilu 1 : 50.000. Geodetski vestnik 50-2. Ljubljana.

Poljanec, A. 2005: Analiza obravnavanja sestojev kot inventurnih in načrtovalnih enot v gozdarskem načrtovanju. Magistrsko delo, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani. Ljubljana.

Pravilnik o gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtih. UL RS 05/98, 70/06. Ljubljana.

Skudnik, M. 2007: Tehnologija izdelave in vzdrževanja karte gozdnih sestojev. Diplomsko delo, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani. Ljubljana.

Šumrada, R. 2005: Strukture podatkov in prostorske analize. Ljubljana.

Zakon o gozdovih. UL RS 30/93, 67/02, 110/07. Ljubljana.

PRIKAZ RAZPOREDITVE VRSTNE PESTROSTI PODZEMELJSKIH HROŠČEV Z UPORABO INTERPOLACIJSKIH METOD

dr. Maja Zagmajster, dr. Boris Sket
Oddelek za biologijo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani
maja.zagmajster@bf.uni-lj.si, boris.sket@bf.uni-lj.si

dr. David C. Culver
Department of Biology, American University, Washington DC, ZDA
dculver@american.edu

UDK: 595.76:528.9(234)
COBISS: 1.16

IZVLEČEK
Prikaz razporeditve vrstne pestrosti podzemeljskih hroščev z uporabo interpolacijskih metod
Na območju Dinarskega krasa in v delu Južnih Apneniških Alp večina obligatno podzemeljskih (ali troglobiotskih) hroščev pripada trem družinam: Cholevidae, Carabidae in Pselaphidae. Razporeditev števila vrst na tem območju smo prikazali z mrežo s kvadrati velikosti 20 × 20 km. Za izračun plastnic razporeditve vrstnega bogastva z metodama tehtanih drsečih sredin in osnovnega kriginga smo uporabili število vrst v kvadratih. Uporaba interpolacijskih metod nam je poleg drugačnega slikovnega prikaza razporeditve vrstne pestrosti omogočila tudi napoved števila vrst za območja brez podatkov. Naši rezultati so potrdili uporabnost interpolacijskih metod za kartiranje podzemeljske vrstne pestrosti.

KLJUČNE BESEDE
Dinarski kras, Južne Apneniške Alpe, troglobiotski hrošči, metoda tehtanih drsečih sredin, osnovni kriging, podzemeljska vrstna pestrost

ABSTRACT
The representation of subterranean beetle biodiversity with the use of interpolation methods
In the area of Dinaric karst and parts of Southern Calcareous Alps most of the obligate subterranean (troglobiotic) beetles belong to the families Cholevidae, Carabidae and Pselaphidae. We mapped the pattern of species richness on a grid with quadratic cells of 20 × 20 km. The number of species in each quadrate cell was used to calculate the contours of species richness, using the inverse distance weighting and ordinary kriging. Besides differences in the visual presentation of species richness pattern, the interpolation methods also enabled the predictions of species numbers for the areas without beetle records. Our results confirmed that interpolation methods are useful tools in mapping subterranean biodiversity.

KEY WORDS
Dinaric karst, Southern Calcareous Alps, troglobiotic beetles, inverse distance weighting, ordinary kriging, subterranean biodiversity

1 Uvod

Z območja zahodnega Balkana, kjer se razteza Dinarski kras, je znanih okoli 930 obligatno podzemeljskih, t. i. troglobiotskih vrst (Sket 2005). Te so se na življenje v podzemlju tako dobro prilagodile, da jih v površinskem okolju ne najdemo več. Velika raznovrstnost in prisotnost izključno na omenjeno območje vezanih (endemnih) troglobiotskih predstavnikov nekaterih živalskih skupin uvrščata Dinarski kras med svetovne »vroče točke« podzemeljskega vrstnega bogastva.

Kljub slednjemu so vzorci vrstne raznolikosti na območju razmeroma slabo poznani in večinoma temeljijo na popisih za države ali večja območja (Culver s sodelavci 2004; Sket s sodelavci 2004). Prostorsko natančnejše metode za kartiranje razporeditve vrstne raznolikosti podzemeljske favne za celotno dinarsko območje so bile uporabljene za troglobiotske hrošče (Zagmajster s sodelavci 2006; Zagmajster s sodelavci 2008). Ker hrošči po številu vrst predstavljajo skoraj 45 % kopenskih troglobiontov, so reprezentativni za kopensko podzemeljsko favno (Sket s sodelavci 2004; Sket 2005).

Potencialno bogastvo še nepoznanih vrst podzemeljskih hroščev na Dinarskem krasu nakazujejo vsakoletna odkritja novih vrst in celo rodov (Polak in Bognolo 2003; Hlavač in Lakota 2004; Casale s sodelavci 2004; Giachino in Vailati 2006), možnost dodatnih odkritij so potrdile tudi krivulje kopičenja vrst podzemeljskih hroščev (Zagmajster s sodelavci 2008). V slednji raziskavi so z natančnejšim kartiranjem števila hroščev iz družin Cholevidae in Carabidae ugotovili dve območji s posebej visoko raznovrstnostjo in nekaj predelov brez ali z malo podatki o podzemeljskih hroščih iz obeh družin.

Orodja prostorskih interpolacij se vse bolj uporabljajo v raziskavah vrstne pestrosti (Hernandez-Stefanoni 2005; Jiguet in sodelavci 2005), tudi v analizah podzemeljske favne (Christman 2005; Christman s sodelavci 2005). Interpolacijske metode na osnovi znanih vrednosti podajo pričakovane vrednosti s pomočjo določenega algoritma (Davis 2002). V študijah podzemeljske favne imajo interpolacijske metode velik potencial (Christman 2005). Vzorčenje omenjene favne, še posebej podzemeljskih hroščev, je fizično in časovno zahtevno delo. Uporaba napovedi števila pričakovanih vrst, s katero lahko usmerimo raziskovanja, je zato še posebej koristna.

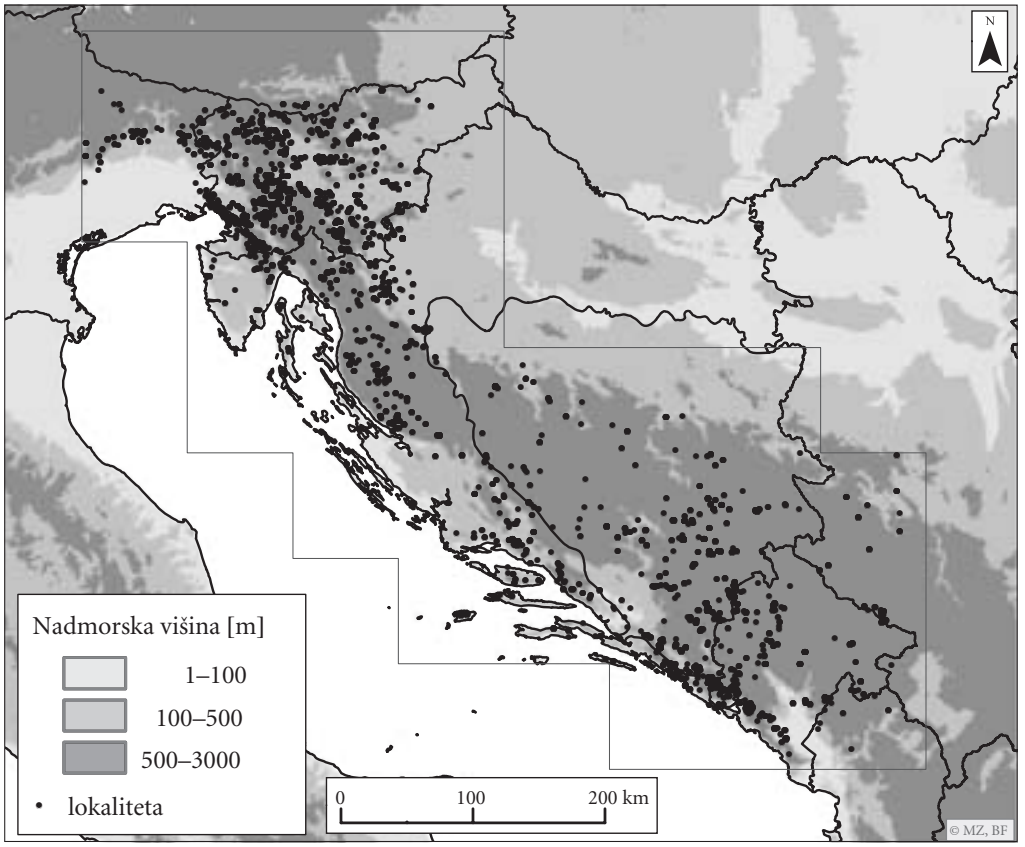
V geostatistiki je veliko metod s katerimi lahko modeliramo prostorske vzorce in ocenjujemo vrednosti na neraziskanih lokacijah (Davis 2002; Siska s sodelavci 2005). Kriging je metoda, ki pri ocenjevanju predvidenih vrednosti na osnovi izmerjenih vrednosti upošteva tudi prostorsko avtokorelacijo med spremenljivkami. Uporabili so jo v analizah geoloških in klimatoloških podatkov, pri izdelavi digitalnih modelov terena, modelov razporeditve padavin in podobno (Davis 2002). Metoda se uveljavlja tudi v postopkih kartiranja bioloških podatkov, pri čemer njena uporabnost in problemi pri kartiranju podzemeljske favne še niso dobro preverjeni (Christman 2005).

Prispevek je zasnovan na kartiranju razporeditve podzemeljskih hroščev iz družin Cholevidae, Carabidae in Pselaphidae v mreži kvadratov 20 × 20 km. Pripravili smo plastnice razporeditve vrstnega bogastva z uporabo dveh metod interpolacije. Obravnavamo tudi prednosti takega prikaza pri študijah podzemeljske vrstne pestrosti.

2 Materiali in metode

2.1 Območje raziskave in podatki o podzemeljskih hroščih

Raziskovano območje leži na zahodnem delu Balkanskega polotoka (slika 1). Naše analize obsegajo Dinarsko gorstvo in del Južnih Apneniških Alp (severovzhodni deli Italije, skrajni južni del Avstrije in severni del Slovenije). Kamninska podlaga tega območja je večinoma karbonatna (apnenci, dolomiti), v njej so nastale številne podzemeljske kraške oblike, vključno z jamami. Samo na ozemlju Slovenije je bilo v aprilu 2007 registriranih in v Kataster jam Slovenije vpisanih več kot 9000 jam. Skupno število jam na raziskovanem območju sicer ni znano, glede na znano število jam na Hrvaškem (čez 7500,



Slika 1: Raziskovano območje (v okviru) in lokacije z obligatno podzemeljskimi (troglobiotskimi) hrošči iz družin Carabidae, Cholevidae in Pselaphidae.

Gottstein-Matočec in sodelavci 2002) ter v Bosni in Hercegovini (čez 4000, Mulaomerović s sodelavci 2006), pa zelo verjetno presega število 20.000.

Določitev, da je neka vrsta hrošča specializirana za življenje v podzemlju (troglobiotska), kar pomeni, da nima stalnih površinskih populacij (Sket 2004), je lahko težavna. Vrste smo označili kot troglobiotske, če so bile večinoma najdene v jamah, ali pa smo to določitev povzeli iz literature. V analize smo vključili 363 troglobiotskih vrst hroščev: 113 vrst iz družine krešičev (Carabidae: Scaritinae in Trechinae), 224 vrst iz družine mrharčkov (Cholevidae: Leptodirinae) in 26 vrst iz družine palčkov (Pselaphidae).

Podatki o razširjenosti podzemeljskih živali so zbrani v relacijski podatkovni zbirki Raziskovalne skupine za zoologijo in speleobiologijo Oddelka za biologijo Biotehniške fakultete. Pripravili smo jih s programom Microsoft Access. Upoštevali smo več kot 80 literaturnih virov in preglednih študij. Geografski položaj vsake lokalitete smo določili z geografskimi koordinatami v WGS84 koordinatnem sistemu. Natančnost koordinat je bila odvisna tako od natančnosti opisa lokacije v literaturi kot od razpoložljivega kartografskega vira, s katerega smo povzeli koordinate (pregled uporabljenih podatkovnih in kartografskih virov v Zagmajster in sodelavci 2006). V analize smo vključili le lokacije, katerih položaj smo določili s krogom polmera 6 km ali natančneje. Temu pogoju je ustrezalo 1839 lokalitet s troglobiotskimi hrošči na izbranem območju.

2.2 Prikaz razporeditve vrstne pestrosti

Raziskovano območje smo kartirali v Lambertovi stožčni projekciji (centralni poldnevnik 18°, standardna vzporednika: 42° in 46°, faktor merila: 1, izhodiščni podnevnik: 12°, odmik proti vzhodu: 600.000, odmik proti severu: –3.000.000, na WGS84 elipsoidu). Območje smo prekrili z mrežo kvadratov velikih 20 × 20 km, ta velikost mreže se je namreč izkazala kot najprimernejša za prikaz in analize pestrosti podzemeljskih hroščev na dinarskem območju (Zagmajster in sodelavci 2008).

Najprej smo sešteli vrste hroščev v vsakem kvadratu. Glede na število vrst smo kvadrate razporedili v pet razredov:

- 1. razred – kvadrati z vsaj 85 % vrst kvadrata z največ vrstami,
- 2. razred – kvadrati s 60–84 % vrst najbogatejšega kvadrata,
- 3. razred – kvadrati s 30–59 % vrst najbogatejšega kvadrata,
- 4. razred – kvadrati z 2–29 % vrst najbogatejšega kvadrata in
- 5. razred – kvadrati z eno vrsto.

Središčem kvadatov smo pripisali število vrst, najdenih v kvadratih, tistim, od koder podatkov nismo imeli, pa vrednosti 0. Razporeditev vrstnega bogastva troglobiotskih hroščev smo prikazali s plastnicami, ki smo jih pripravili z dvema metodama interpolacije: metodo tehtanih drsečih sredin in osnovnim krigingom (Davis 2002).

Metoda tehtanih drsečih sredin IDW (angleško *inverse distance weighting*) izračuna vrednost v iskani točki z uporabo uteženega povprečja meritev na okoliških točkah z znanimi vrednostmi (Davis 2002; Skok in Vrhovec 2005). Velikost uteži pada s kvadratom evklidske razdalje med iskano in poznano točko. V naših analizah smo največji pomen za določanje iskanih vrednosti določili bližje ležečim znanim vrednostim. Pričakovati je, da si bodo bližje ležeče lokacije bolj podobne glede na število vrst, saj je prehajanje podzemeljskih živali med bližjimi lokacijami bolj mogoče. Kot vplivno okolico smo določili krog s polmerom 40 km okoli iskane točke. Ta krog je bil razdeljen na štiri podenote, pri izračunih so bile iz vsake podenote upoštevane največ štiri znane vrednosti.

Kriging je interpolacijska metoda, ki upošteva prostorsko avtokorelacijo opazovane spremenljivke (Davis 2002).

Najprej smo pripravili model semivariograma, grafa semivarianc za različne razdalje med znanimi točkami. Za določanje vrednosti semivariance na poljubnih razdaljah smo uporabili sferični model (Davis 2002), kot osnovno velikost intervalov smo vzeli velikost stranice osnovne celice mreže (20 km) ter jih izračunali deset. Če je razdalja majhna, so si vrednosti na točkah, ki jih primerjamo, bolj podobne in semivarianca je nizka. Z naraščanjem razdalje so si vrednosti na točkah vse manj podobne in semivarianca se veča. Na določeni razdalji so vrednosti na primerjanih točkah tako različne, da niso več povezane med seboj, njihovi kvadrati razlik pa postanejo enaki velikosti variance okoli povprečne vrednosti vseh točk. Vrednost semivariance, ko ta ne narašča več, se imenuje prag semivariograma (angleško *sill*), razdalja, pri kateri se semivarianca približa varianci, se imenuje semivariogramski razmik (angleško *range*). Lahko se zgodi, da se semivariogram začne pri vrednosti, višji od 0, kar imenujemo vpliv zlatega zrna (angleško *nugget*) (Davis 2002, vsi prevodi po Kastelec 2001). Uporabili smo metodo osnovni kriging (angleško *ordinary kriging*), pri kateri velja, da je povprečna vrednost spremenljivke neznana. Za izračun meritev smo uporabili enako velikost vplivnega območja in število upoštevanih znanih točk kot pri metodi tehtanih drsečih sredin.

S postopkom navzkrižnega preverjanja (angleško *crossvalidation*) smo preverili, kako dobra sta modela pri napovedovanju števila vrst. Pri tem v postopku izmerjene vrednosti izločimo in izračunamo interpolirano vrednost zanjo (Davis 2002). V primeru osnovnega kriginga smo podali tudi karto razporeditve standardne napake napovedanih vrednosti.

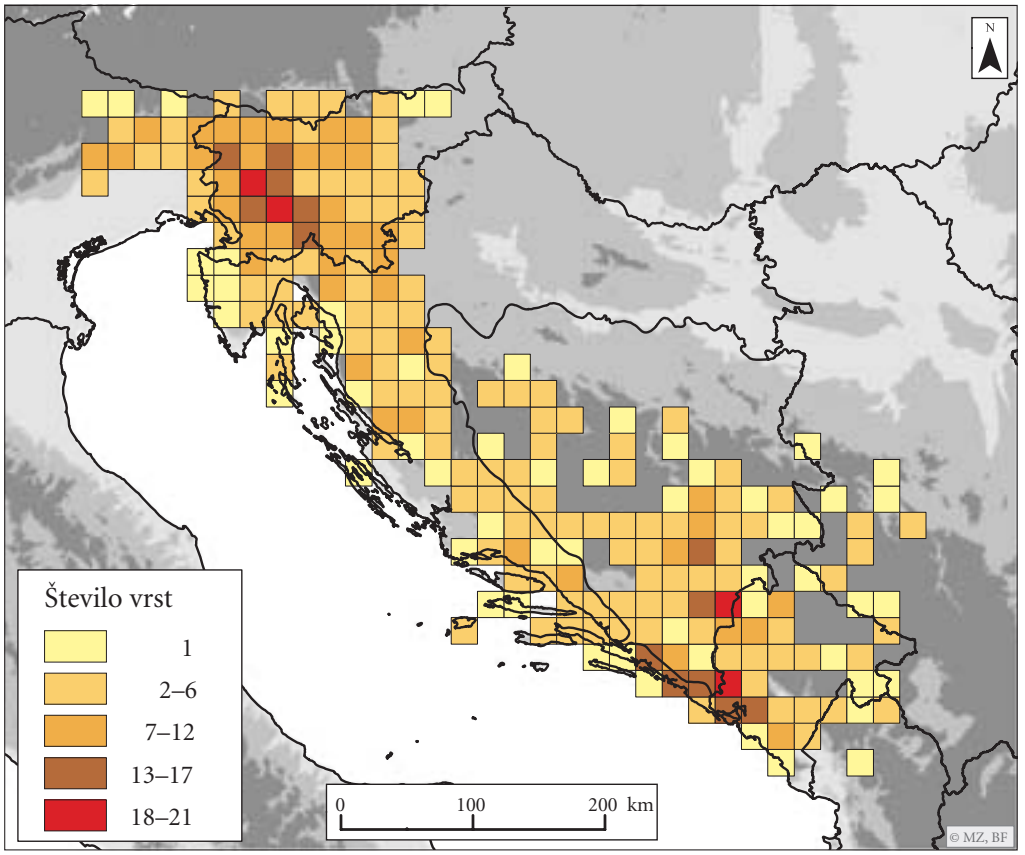
Osnovne datoteke smo pripravili s programom Excell (Microsoft Office), za kartiranje in prostorske analize smo uporabili program ArcMap (ArcGIS, ver. 9.1, ESRI) in njegovo razširitev Geostatistical Analyst.

3 Rezultati

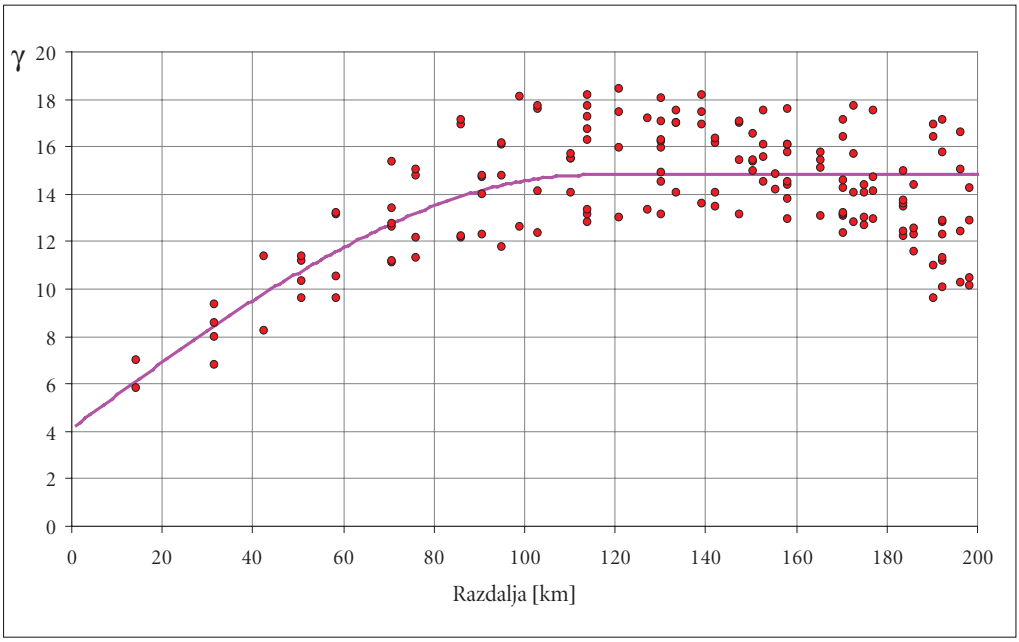
S kartiranjem troglobiotskih vrst iz treh družin hroščev se na raziskovanem območju pokažejo štirje kvadrati z najvišjim številom vrst in več vrstno bogatejših kvadratov (slika 2): na severozahodu v Sloveniji, na jugovzhodu v Bosni in Hercegovini, v Dalmaciji ter delu Črne Gore. Prepoznamo lahko tudi območja, od koder podatkov za troglobiotske vrste nimamo ali pa je teh zelo malo. Tudi okoli nekaterih kvadratov z visokim število vrst so kvadrati, od koder podatkov ni, še posebno na jugovzhodnem delu območja.

Plastnice razporeditve vrstne pestrosti z uporabo dveh metod interpolacije so prikazane na sliki 4. Vidni sta dve območji z zelo visoko raznovrstnostjo, na severozahodu in jugovzhodu raziskovanega območja, med njima pa območje z nekoliko povišano vrstno pestrostjo (srednja Dalmacija). V primeru IDW je na jugovzhodu prisotna višja raznovrstnost a na manjšem območju kot na severozahodu (slika 4).

V postopku priprave plastnic z metodo osnovi kriging smo najprej pripravili model semivariograma (slika 3). Avtokorelacija vrednosti vrst je največja pri manjših razdaljah, kjer so si vrednosti najbolj podobne (zato je varianca tam majhna). Z večanjem razdalj variance naraščajo, dokler se naraščanje pri razdalji 114,4 km ne preneha (preglednica 1).



Slika 2: Prikaz razporeditve vrstne pestrosti troglobiotskih hroščev na raziskovanem območju v mreži s kvadrati 20 × 20 km.



Slika 3: Model semivariograma za podatke o troglobiotskih hroščih na zahodnem Balkanu. Velikost intervala je 20 km, izračunali smo 10 intervalov in uporabili sferični model.

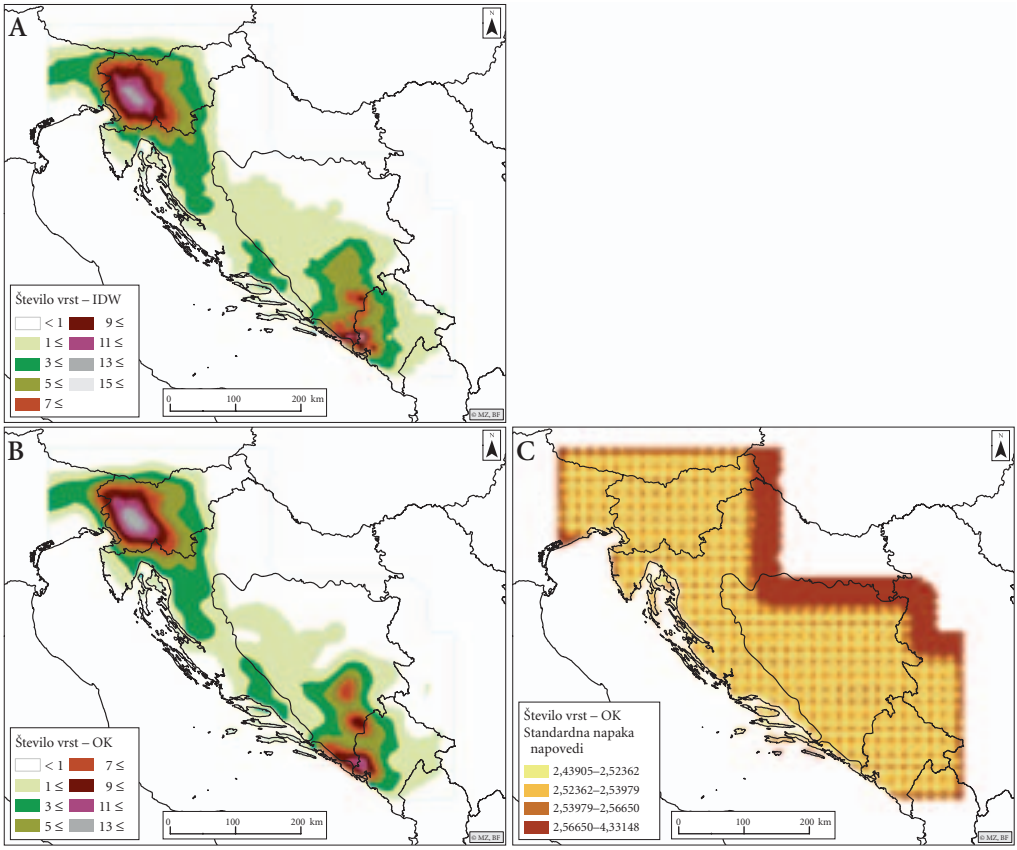
Preglednica 1: Lastnosti modela semivariograma za podatke o troglobiotskih hroščih na zahodnem Balkanu. Velikost intervala je 20 km, izračunali smo 10 intervalov in uporabili sferični model.

zlato zrno	prag	razmik
4,1303	14,8093	114.402

Plastnice vrstne pestrosti, ki smo jih dobili z metodo osnovni kriging, so prikazane na sliki 4. Splošna slika se sicer ujema s tisto, ki smo jo dobili z metodo IDW, prikaz pa je bolj »zglajen« in območje višjega števila vrst v severozahodnem delu večje. Tudi na tem prikazu lahko opazimo vmesni del v srednji Dalmaciji z nekoliko višjo raznovrstnostjo.

Preglednica 2: Koren povprečja kvadratov napak napovedi (RMS) iz navzkrižnega preverjanja opaženih in predvidenih vrednosti z interpolacijsko metodo tehtanih drsečih sredin (IDW) in mere napak napovedi, dobljene z navzkrižnim preverjanjem opaženih in predvidenih vrednosti z metodo osnovni kriging (OK). PE Mean – povprečna napaka napovedi, RMS – koren povprečja kvadrata napovedi, Average SE – povprečna standardizirana napaka, RMS Standardized – standardiziran koren povprečja kvadrata napovedi.

	RMS	PE Mean	Average SE	RMS Standardized
IDW	2,431	0,02467	–	–
OK	2,372	0,009794	2,696	0,89



Slika 4: Plastnice razporeditve vrstne pestrosti troglobiotskih hroščev z metodo tehtanih drsečih sredin – IDW (A), z osnovnim krigingom – OK (B) in prikaz standardnih napak napovedi z osnovnim krigingom (C).

Iz karte razporeditve standardnih napak napovedi lahko razberemo, da so te najmanjše za mesta blizu znanih vrednosti števila vrst (slika 4). Iz manj znanih točk je narejena napoved, večja je standardna napaka. Tako se velikost standardnih napak veča proti robu raziskovanega območja, kjer so napovedi narejene iz manj znanih vrednosti.

Rezultati navzkrižnega preverjanja napovedi so podani v preglednici 1. Povprečna napaka napovedi je blizu 0. Vrednosti povprečja kvadratov napak napovedi in vrednosti povprečne standarizirane napake so podobne, standariziran koren povprečja napak napovedi je blizu vrednosti 1 (preglednica 2). Ti parametri kažejo, da je model dober in da dobro povzema izhodiščne podatke (Arc GIS ver. 9.1, Desktop Help).

4 Razprava

Pri preučevanju razporeditve pestrosti podzemeljske favne se srečamo s problemom območij, od koder zaradi različnih razlogov nimamo podatkov o prisotnosti vrst (Christman 2005). Odsotnost podzemeljskih vrst je lahko naravna danost nekega območja, če tam, na primer, ni primerne kraške podlage in s tem primernega bivališča za podzemeljske vrste. Upoštevati je treba, da smo pri preverjanju upo-

rabnosti interpolacijskih metod uporabili poenostavljen primer, v katerem nismo upoštevali razlik v deležu krasa med kvadrati in geološke zgodovine območja. Ne glede na to pa lahko potrdimo obstoj krasa v kvadratih, kjer smo našli podzemeljske vrste hroščev in hkrati veliko verjetnost obstoja v kvadratih, ki mejijo na omenjene. Odsotnost podzemeljskih vrst je lahko tudi posledica neraziskanosti območja. Če za take kvadrate določimo vrednost 0 za število vrst, je to lahko napačno. Napovedi z interpolacijskimi metodami so koristne zlasti v primerih, ko je razlog za odsotnost vrst v kvadratu neraziskanost.

IDW in osnovni kriging sta v grobem podala enako sliko razporeditve bogastva podzemeljskih vrst hroščev z dvema večjima območjema, na severozahodu in jugovzhodu. To smo sicer lahko razbrali tudi iz prikaza v kvadratni mreži, a sta prva prikaza bolj »zglajena« in tako jasneje pokažeta razporeditev vrstnega bogastva. Prednost metode osnovnega kriginga pred metodo IDW je, da upošteva tudi avtokorelacijo znanih vrednosti iz modela semivariograma. Vrednost zlatega zrna, ki ni enak 0, kaže tudi na prostorsko komponento opazovanega pojava, ki bi bila vidna pri finejšem merilu kot je bilo to, ki smo ga uporabili (Christman 2005).

Ena od lastnosti metode kriging je, da za točke z znanimi vrednostmi poda napovedi, ki so enake znanim vrednostim (Davis 2002; Christman 2005). Napovedane vrednosti števila vrst podzemeljskih hroščev so bile na naših interpoliranih kartah v znanih točkah nižje od znanih vrednosti. Enak pojav smo zasledili na kartah interpoliranih vrednosti pri drugih raziskavah vrstne pestrosti (na primer Hernandez-Stefanoni 2005; Jiguet in sodelavci 2005), a avtorji temu niso posvečali pozornosti. Do omenjenega pojava pride najverjetneje zaradi velikega števila ničel v izhodiščnih podatkih, ki »vlečejo« povprečje napovedi modela navzdol (Christman 2005). Zato menimo, da moramo na napovedi plastnic gledati v luči minimalnih vrednosti števila vrst, ki jih na tistem območju lahko pričakujemo.

Pri modeliranju reliefa površja so Siska in sodelavci (2005) ugotovili, da je bila napaka napovedi kriginga večja v goratih predelih, kjer na napovedi vplivajo hitre spremembe v nadmorskih višinah. Tudi v našem primeru so lahko razlike in s tem skoki med vrednostmi števila vrst med sosednjimi kvadrati precejšnji. V jugovzhodnem delu Dinaridov smo tako poleg vrstno bogatih kvadratov opazili prazne kvadrate ali take z zelo malo zabeleženimi vrstami. Mogoče je, da so odstopanja med znanimi in napovedanimi vrednostmi v našem primeru tudi posledica zelo neenakomerne razporeditve števila vrst.

Pri tolmačenju dobljenih slik plastnic raznovrstnosti je treba biti previden in upoštevati, da poleg prostorske razporeditve podatkov na razporeditev vrst vplivajo tudi drugi dejavniki. Zato smo se že lotili priprave karte geološke podlage celotnega dinarskega območja v obliko, primerno za nadaljnje geostatistične analize v GIS okolju. Geološko podlago bomo lahko tako v prihodnje uporabili kot dodatno spremenljivko pri izdelavi modela.

Lahko rečemo, da so metode prostorske interpolacije zelo uporabne pri slikovnem prikazu razporeditve podzemeljske vrstne pestrosti. Tovrstni prikazi so pomembni tako za nadaljnje analize razporeditve raznovrstnosti, kot tudi za razumevanje procesov, ki so vodili do njih. Dobro poznavanje vzorcev raznovrstnosti je predpogoj za načrtovanje varstvenih strategij (Christman 2005).

Zahvala

Zahvaljujemo se dr. Tomažu Podobnikarju (Inštitut za prostorske in antropološke študije ZRC SAZU), ki je pripravil projekcijske datoteke za Lambert stožčno projekcijo in mrežo kvadratov, s katero smo prekrili proučevano območje. Hvala tudi dr. Mary Christman (University of Florida, ZDA) za pomoč in diskusije v zvezi z uporabo prostorskih statističnih metod. Dr. Simona Prevorčnik (Univerza v Ljubljani) je prispevala k izboljšanju jasnosti besedila. Raziskavo je finančno podprla Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije.

5 Viri in literatura

Casale, A., Giachino, P. M., Jalžić, B. 2004: Three new species and one new genus of ultraspecialized cave dwelling Leptodirinae from Croatia (Coleoptera, Cholevidae). Natura Croatica 13-4. Zagreb.

Christman, M. C. 2005: Mapping subterranean biodiversity. Encyclopedia of Caves. Oxford.

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., Christman, M. C., Sket, B., Trontelj, P. 2004: Sampling adequacy in an extreme environment: species richness patterns in Slovenian caves. Biodiversity and Conservation 13.

Davis, J. C. 2002: Statistics and data analysis in geology. New York.

Giachino, P. M., Vailati, D. 2006: *Kircheria beroni*, a new genus and new species of subterranean hygropetricolous Leptodirinae from Albania (Coleoptera, Cholevidae). Subterranean Biology 4.

Gottstein-Matočec, S., Bakran-Petricioli, T., Bedek, J., Bukovec, D., Buzjak, S., Franičević, M., Jalžić, B., Kerovec, M., Kletečki, E., Kralj, J., Kružić, P., Kučinić, M., Kuhta, M., Matočec, N., Ozimec, R., Rađa, T., Štamol, V., Ternjej, I., Tvrtković, N. 2002: An overview of the cave and interstitial biota of Croatia. Natura Croatica 11, Priloga 1. Zagreb.

Hernandez-Stefanoni, J. L. 2005. Relationships between landscape patterns and species richness of trees, shrubs and vines in a tropical forest. Plant Ecology 179.

Hlavač, P., Lakota, J. 2004: A new species of cavernicolous genus *Machaerites* Miller, 1855 (Coleoptera, Staphylinidae, Pselaphidae) from Croatia. Natura Croatica 13-2. Zagreb.

Jiguet F., Julliard, R., Couvet, D., Petiau, A. 2005. Modelling spatial trends in estimated species richness using breeding bird survey data: a valuable tool in biodiversity assessment. Biodiversity and Conservation 14.

Kastelec, D. 2001: Objektivna prostorska interpolacija meteoroloških spremenljivk in njihovo kartiranje. Disertacija, Fakulteta za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani. Ljubljana.

Mulaomerović, J., Zahirović, D., Handžić, E. 2006: Katastar speleoloških objekata Bosne i Hercegovine. Sarajevo.

Polak, S., Bognolo, M. 2003: *Prospelaeobates brelihi* sp. nov., a new Leptodirine beetle from Slovenia (Coleoptera: Cholevidae). Acta entomologica Slovenica 11-1. Ljubljana.

Siska, P. P., Goovaerts, P., Hung I.-K., Bryant, V. M. 2005: Predicting ordinary kriging errors caused by surface roughness and dissectivity. Earth surface processes and landforms 30.

Sket, B. 2005: Dinaric karst, diversity in. Encyclopaedia of Caves. Oxford.

Sket, B., Paragamian, K., Trontelj P. 2004: A census of the obligate subterranean fauna of the Balkan peninsula. Balkan biodiversity, Pattern and process in the European hotspot. Dordrecht.

Skok, G., Vrhovec, T. 2005: Interpolacija izmerjenih 24-urnih padavin v pravilno mrežo za namen primerjave z numeričnim modelom za napovedovanje vremena. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2004: zbornik predavanj. Ljubljana.

Zagmajster, M., Culver, C. D., Sket, B. 2008: Species richness patterns of obligate subterranean beetles (Insecta: Coleoptera) in a global biodiversity hotspot – effect of scale and sampling intensity. Diversity and Distributions 14.

Zagmajster, M., Sket, B., Podobnikar, T. 2006: Izbira mreže za prostorsko analizo podzemeljske biodiverzitete. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2005–2006. Ljubljana.

PREPOZNAVANJE KMETIJSKIH KULTUR Z DALJINSKIM ZAZNAVANJEM

Vesna Dežman Kete, Anita Ipša, Nika Mesner, mag. Katja Oven
Geodetski inštitut Slovenije
vesna.dezman@geod-is.si, anita.ipsa@geod-is.si, nika.mesner@geod-is.si, katja.oven@geod-is.si

UDK: 528.8:633(497.4)
COBISS: 1.16

IZVLEČEK
Prepoznavanje kmetijskih kultur z daljinskim zaznavanjem
V letu 2007 je Slovenija za kontrolo kmetijskih kultur in površin uporabila tudi metodo kontrole površin z daljinskim zaznavanjem (CwRS – Control with Remote Sensing). S tem je bila uvedena kontrola kmetijske kulture in rabe tal s pomočjo satelitskih posnetkov. Uporabljene so bile tri vrste satelitskih posnetkov, in sicer VHR Ikonos in QuickBird ter HR SPOT.
V članku so opisani postopki predobdelave satelitskih posnetkov (ortorektifikacija, ostrenje satelitskega posnetka), priprava fotointerpretacijskega ključa za posamezno kmetijsko kulturo in s tem tudi rabo tal ter primeri fotointerpretacije določenih kmetijskih kultur glede na čas snemanja in vrsto satelitskega posnetka.

KLJUČNE BESEDE
daljinsko zaznavanje, satelitski posnetki, fotointerpretacija kmetijske kulture, Slovenija

ABSTRACT
Recognizing field crops with remote sensing
Slovenia has used control with remote sensing (CwRS) for control of agricultural area-based subsides in the year 2007 for the first time. This enabled the use of satelitte images for control of field crops and land use. Three kinds of satellite images have been used: two VHR satellite images (Ikonos and QuickBird) and one HR satellite image (SPOT).
In this article we describe the procedure of preparation of satellite images (orthorectification, sharpening the satellite image), preparation of the photo interpretation key for some of the field crops and also for land use. The article also contains examples of photo interpretation of field crops regarding time of capturing and the type of satellite image.

KEY WORDS
remote sensing, satellite images, photo interpretation of field crop, Slovenia

1 Uvod

V članku predstavljamo rezultate projekta, ki so vsebinsko vezani na strokovno področje fotogrametrije in daljinskega zaznavanja. Naročnik projekta je Agencija Republike Slovenije za kmetijske trge in razvoj podeželja (ARSKTRP), kot izvajalci pa so zastopani Geodetski zavod Celje, Geodetski zavod Slovenije in Geodetski inštitut Slovenije.

Slovenija je v letu 2007 za kontrolo površin, kmetijske kulture in rabe tal uporabila tudi metodo kontrole z daljinskim zaznavanjem (v nadaljevanju kontrola CwRS). Osnovni vhodni podatki za izvedbo kontrole CwRS so bili satelitski posnetki, ki nam jih je zagotovil znanstveno raziskovalni center za podporo Evropski komisiji – JRC (*European Commission, Directorate General JRC, Joint Research Center – Ispra*). Uporabljeni so bili štirje posnetki z zelo visoko ločljivostjo (QB VHR) 0,6 m ter Ikonos satelitski posnetek z zelo visoko ločljivostjo (IK VHR) 1 m. Poleg tega so bili na območju enega QuickBird satelitskega posnetka dodatno uporabljeni 3 časovno zaporedni SPOT posnetki z visoko ločljivostjo (HR SPOT).

Po obdelavi satelitskih posnetkov so bili le-ti uporabljeni kot osnova za prepoznavanje kmetijskih kultur in površin z uporabo metod avtomatske klasifikacije in fotointerpretacije. Rezultati metod prepoznavanja kmetijskih kultur in površin s pomočjo satelitskih posnetkov so predstavljeni v tem članku.

2 Obdelava satelitskih posnetkov

Celoten postopek orientacije in ortorektifikacije s strani Geodetskega inštituta Slovenije je bil izveden z modulom *Leica Photogrammetry Suite* (LPS) programa ERDAS IMAGINE. Eden od satelitskih posnetkov QuickBird je bil orientiran in ortorektificiran s strani Geodetskega zavoda Slovenije, kjer je bila uporabljena programska oprema BAE Systems SOCET SET modula: ASM za vnos, MST za orientacijo in MOZAIK za izdelavo ortofota.

2.1 Vhodni podatki

Za izvedbo ortorektifikacije satelitskih posnetkov so bili uporabljeni naslednji vhodni podatki:

- izvorni satelitski posnetki z metapodatki (Skladno s predpisanimi specifikacijami, ki se nanašajo na natančnost uporabljenih virov v kontroli CwRS, je bilo potrebno pridobiti takšne vhodne vire, ki po zaključenem postopku ortorektifikacije zadostijo predpisani natančnosti. Vsak dobavitelj satelitskih posnetkov nudi svoj sistem specifikacij z različnimi stopnjami obdelave surovih satelitskih posnetkov, zato se je bilo potrebno ločeno za vsak tip satelitskih posnetkov odločati o ustrezni stopnji obdelave, ki zadostijo predpisanim standardom in ki so opremljeni z ustreznimi metapodatki o notranji in zunanji orientaciji, o geometričnem modelu satelitskega posnetka in o stopnji ortorektifikacije.);
- digitalni ortofoto – DOF (Kot vir oslonilnih in kontrolnih točk so bili uporabljeni digitalni ortofoto posnetki, ki so bili za namen izvedbe ortorektifikacije združeni v mozaik, ter točke GPS terenske izmere.);
- DMR (Kot referenčni vir višinskih podatkov je bil uporabljen digitalni model reliefa DMR5.).

Končno obdelani satelitski posnetki se nahajajo v Gauss-Krügerjevem koordinatnem sistemu.

2.2 Orientacija

Modul LPS omogoča samodejno izvedbo notranje in zunanje orientacije, upoštevajoč ustrezni geometrični model, ki opredeljuje geometrične značilnosti v povezavi s senzorjem satelita. Geometrični modeli so pogosto definirani z racionalnim polinomom, katerega stopnjo je potrebno izbrati. V odvisnosti od izbrane stopnje polinoma lahko vplivamo na stopnjo odstopanj na posameznih oslonilnih točkah in na stopnjo geometričnih deformacij znotraj satelitskega posnetka.

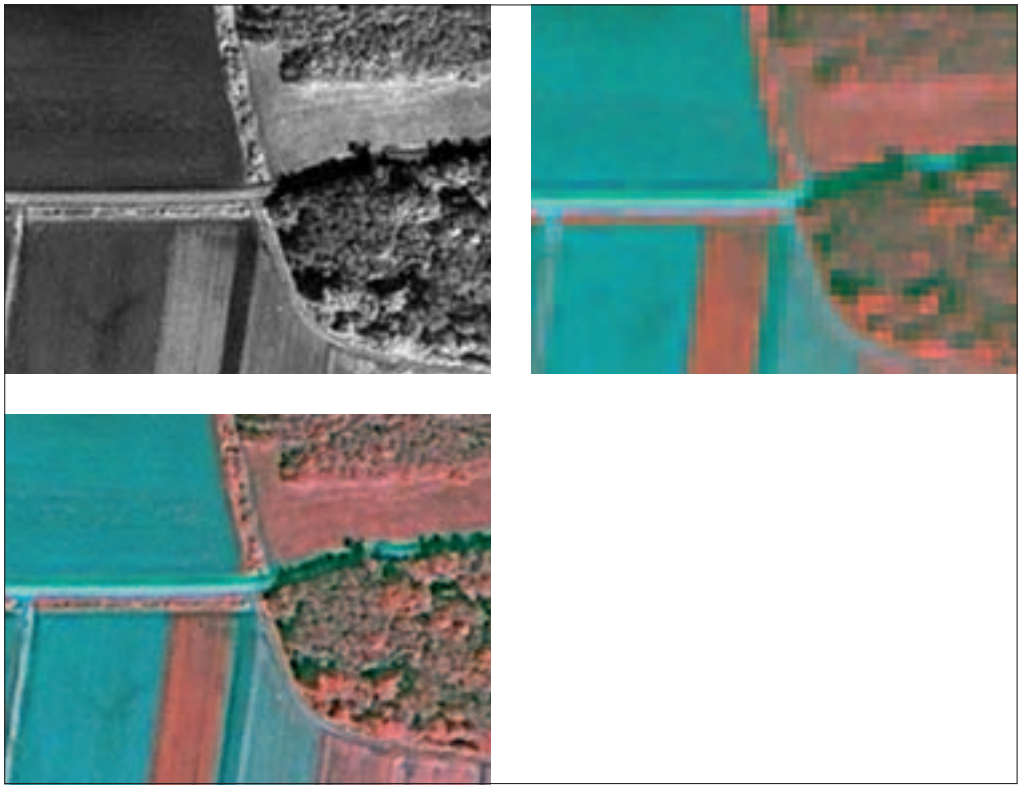
V fazi triangulacije se vzpostavi matematični odnos med satelitsko podobo, senzorjem satelita in zemeljskim površjem. Kakovost vzpostavljenega matematičnega odnosa je odvisna od zadostnega števila parov identičnih točk, ki predstavljajo isto položajno točko na obravnavani podobi (slikovne koordinate) in na referenčni podobi npr. na mozaiku DOF (referenčne koordinate). Uporabljene so bile le dobro vidne in stalne točke, ki predstavljajo prepoznavne pojave na zemeljskem površju: križišča cest, vogale betonskih ali asfaltnih ploščadi, parkirišč, igrišč, dvorišč, dovoznih poti, in podobno.

2.3 Ortorektifikacija

V postopku ortorektifikacije se iz surovega posnetka na podlagi rezultatov triangulacije (orientacije) in DMR pridobi ortorektificiran satelitski posnetek, ki je prost položajnih geometričnih deformacij, katere na izvornem posnetku nastanejo kot posledica vpliva razgibanosti površja. Z izvedbo te zadnje faze v celotnem postopku ortorektifikacije smo pridobili zanesljivo položajno natančnost vseh slikovnih elementov (pikslov) na celotnem ortorektificiranem satelitskem posnetku.

2.4 Ostrenje ortorektificiranega satelitskega posnetka

Ostrenje ortorektificiranega posnetka je bilo izvedeno v programskem okolju ERDAS IMAGINE, ki omogoča združevanje pankromatske podobe visoke ločljivosti z multispektralno podobo nižje loč-



Slika 1: Iz pankromatske (levo) in multispektralne (desno) združen in ostren ortorektificiran satelitskih posnetek QuickBird (spodaj).

Slika 2: Neostren ortorektificiran posnetek VHR Ikonos (levo) in ostren ortorektificiran posnetek VHR Ikonos (desno).

ljivosti. Spodnji slikovni prikazi predstavljajo rezultate ostrenja na VHR ortorektificiranih satelitskih posnetkih QuickBird in Ikonos.

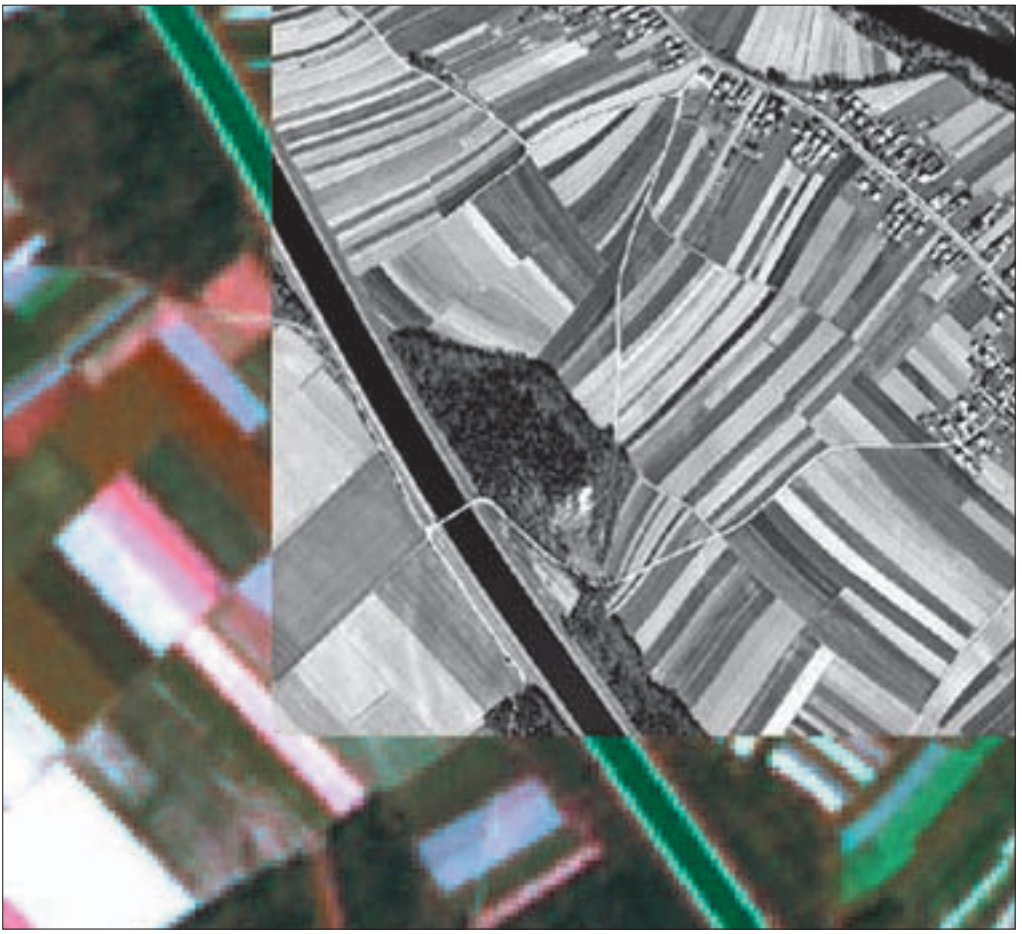
Ustrezno ostreni ortorektificirani satelitski posnetki (VHR, HR) so služili kot primarni vir za izvedbo kontrole površin, kmetijske kulture in rabe tal v postopku projekta CwRS.

2.5 Numerična kontrola kakovosti ortorektifikacije

Numerična kontrola kakovosti ortorektifikacije je bila izvedena za vsak posamezni ortorektificiran satelitski posnetek pred pričetkom uporabe v postopku kontrole površin, kmetijske kulture in rabe tal. Rezultate, ki so del t. i. zapisnika o kontroli ortorektifikacije (QCR – *Quality Control Record*), katerega predpisujejo specifikacije za izvedbo projekta CwRS, podajamo v naslednjih tabelah.

Preglednica 1: Visoko resolucijski ortorektificirani satelitski posnetki HR SPOT.

	SPOT_Spring2	SPOT_Summer1	SPOT_Summer2
število oslonilnih točk (OT)	19	17	17
največje odstopanje OT	9,1 m	14,3 m	10,3 m
število kontrolnih točk (KT)	11	13	12
največje odstopanje KT	8,7 m	9,7 m	14,0 m
RMSE KT	5, 6 m	5,2 m	6,3 m
RMSE OT	5,7 m	6,7 m	5,8 m
izhodna velikost piksla	10 m	10 m	10 m



Slika 3: Vizualna kontrola kakovosti ortorektifikacije HR SPOT z DOF (črnobel).

Slika 4: Vizualna kontrola kakovosti ortorektifikacije VHR Ikonos z DOF (črnobel).

Preglednica 2: Zelo visoko resolucijski ortorektificirani satelitski posnetki VHR QuickBird (VHR QB) za štiri različna območja.

	QB_1_07	QB_2_07	QB_3_07	QB_4_07
število oslonilnih točk (OT)	19	16	15	25
največje odstopanje OT	1,291 m (PAN); 3,085 m (MULTI)	0,49 m (PAN); 2,09 m (MULTI)	0,56 m (PAN); 2,09 m (MULTI)	0,7 m (PAN); 0,87 m (MULTI)
število kontrolnih točk (KT)	10	12	11	10
največje odstopanje KT	1,691 m (PAN); 2,822 m (MULTI)	0,51 m (PAN); 2,19 m (MULTI)	0,59 m (PAN); 2,15 m (MULTI)	1,3 m (PAN); 1,8 m (MULTI)
RMSE KT	1,003 m (PAN); 1,820 m (MULTI)	0,41 m (PAN); 1,58 m (MULTI)	0,52 m (PAN); 1,82 m (MULTI)	0,87 m (PAN); 1,28 m (MULTI)
RMSE OT	0,663 m (PAN); 1,967 m (MULTI)	0,45 m (PAN); 1,91 m (MULTI)	0,49 m (PAN); 1,46 m (MULTI)	0,54 m (PAN); 0,65 m (MULTI)
izhodna velikost piksla	0,60 m (PAN); 2,0 m (MULTI)	0,60 m (PAN); 2,40 m (MULTI)	0,60 m (PAN); 2,0 m (MULTI)	0,60 m (PAN); 2,40 m (MULTI)

Preglednica 3: Zelo visoko resolucijski ortorektificirani satelitski posnetek VHR Ikonos (VHR IK) za eno območje.

število oslonilnih točk (OT)	15
največje odstopanje OT	pan: 0,78 m red: 3,2 m / grn: 3,3 m / blu: 3,3 m / nIR: 3,6 m
število kontrolnih točk (KT)	10
največje odstopanje KT	pan: 0,86 m red: 3,4 m / grn: 3,6 m / blu: 3,5 m / nIR: 3,2 m
RMSE KT	pan: 0,65 m red: 2,0 m / grn: 2,3 m / blu: 2,8 m / nIR: 2,3 m
RMSE OT	pan: 0,70 m red: 2,7 m / grn: 2,3 m / blu: 2,6 m / nIR: 2,7 m
izhodna velikost piksla	1 m (PAN), 4 m (MULTI)

2.6 Vizualna kontrola kakovosti ortorektifikacije

Izkazana zadovoljiva numerična kontrola kakovosti ortorektifikacije se odraža tudi v vizualni oceni kakovosti ortorektificiranih satelitskih posnetkov v primerjavi z digitalnim ortofotom, kar je razvidno iz sledečih slikovnih prikazov.

3 Uporaba satelitskega posnetka za določanje kmetijskih kultur

3.1 Izdelava fotointerpretacijskega ključa za posamezno kmetijsko kulturo

Za fotointerpretacijo kmetijskih kultur iz kateregakoli satelitskega posnetka sta potrebni dve kombinaciji kanalov. Za kombinacijo se uporablja rdeči (R), zeleni (G) in modri (B) kanal ter bližnji infrardeči (nIR) kanal. Slednji kanal je bistven predvsem za fotointerpretacijo rastja.

Za izdelavo fotointerpretacijskega ključa posamezne kulture je bilo potrebno izvesti terenske oglede. Vzorec je moral vsebovati veliko število kmetijskih kultur z različnimi rabami tal na različnih kmetijskih območjih. S podatki s terena sta bila izdelana fotointerpretacijska ključa za satelitska posnetka zelo visoke ločljivosti (VHR) Ikonos in QuickBird.

Vzorec kmetijskih kultur s terena se je prenesel na posamezni satelitski posnetek. Zaradi različnih spektralnih lastnosti posamezne kulture, se je izdelal fotointerpretacijski ključ za določeno kmetijsko kulturo.

V fotointerpretacijski ključ za katerikoli satelitski posnetek so bile vključene le tiste kmetijske kulture, za katere je obstajalo veliko vzorcev in ki so bile dobro prepoznavne. Ostale nevključene kmetijske kulture so bile večinoma redke oziroma tiste, katerih faza rasti se je v času snemanja šele začela. Kmetijske kulture, katerih s pomočjo satelitskega posnetka nismo mogli določiti, so bile določene na terenu.

Število kmetijskih kultur prepoznanih na satelitskem posnetku je bilo odvisno od časa pridobitve posnetka. Preglednica 4 prikazuje datum pridobitve posnetka, vrsto satelitskega posnetka in ime kmetijske kulture, ki jo je bilo mogoče fotointerpretirati na posameznih območjih.

Preglednica 4: Kmetijske kulture, ki jih je bilo možno fotointerpretirati.

datum pridobitve posnetka	vrsta satelitskega posnetka	fotointerpretirane kmetijske kulture
15. 5. 2007	Ikonos	pšenica, rž, ječmen, oljna ogrščica, krompir in delno črna detelja
17. 6. 2007	QuickBird1	pšenica, ajda, koruza, tritikala, oves, ječmen, sončnice, oljna buča, oljna ogrščica, krompir, krmna pesa, krmni sirek, trave, trajno travinje, vrtnine na prostem, travniški sadovnjak različnih sadnih vrst, trta za drugo rabo, ki ni vino
23. 5. 2007	QuickBird3	ječmen, grah, krompir in lucerna

Kot je razvidno iz preglednice 4 je bilo največ kultur možno določiti na območju, ki ga je pokrival QuickBird1. Razlog za to je bilo dokaj pozna pridobitev satelitskega posnetka in v tem času je večina kultur že začela svojo fazo rasti. V primeru območja Ikonos in QuickBird3 večina kmetijskih kultur (npr. koruza) še ni začela rasti, zato je bilo število fotointerpretiranih kultur posledično manjše.

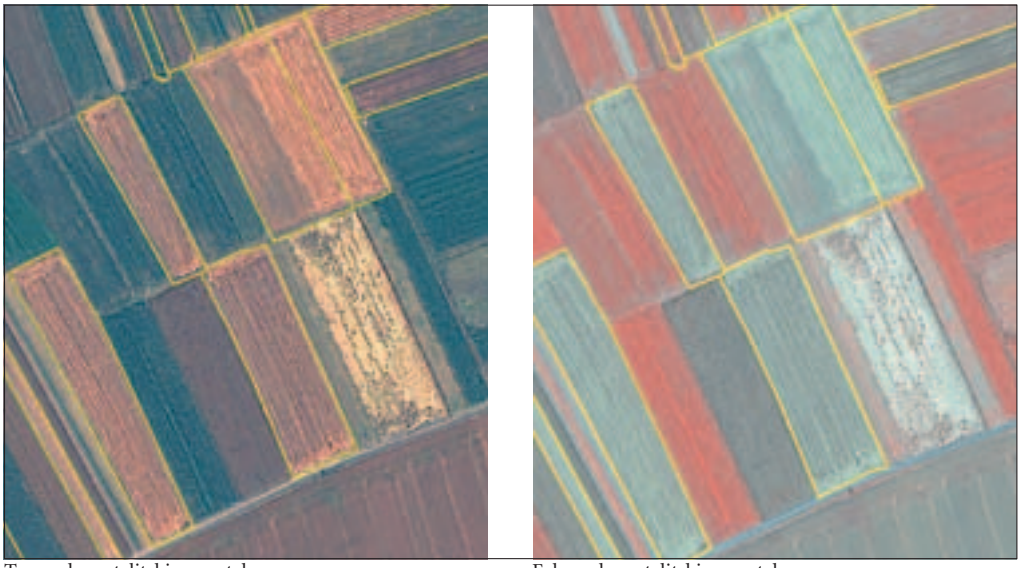
3.2 Primeri fotointerpretacije določenih kmetijskih kultur glede na čas snemanja in vrsto satelitskega posnetka

Fotointerpretacijski ključ iste vrste satelitskega posnetka (npr. QuickBird) se spremninja glede na čas snemanja, saj so lahko iste kmetijske kulture na posnetkih različnega časovnega obdobja v različnih fazah rasti in so tako njihove spektralne lastnosti lahko precej različne.

Na slikah 5 do 8 sta prikazani kmetijski kulturi ječmen in koruza (rumena obroba) z različnimi spektralnimi lastnostmi glede na čas snemanja in vrsto satelitskega posnetka.

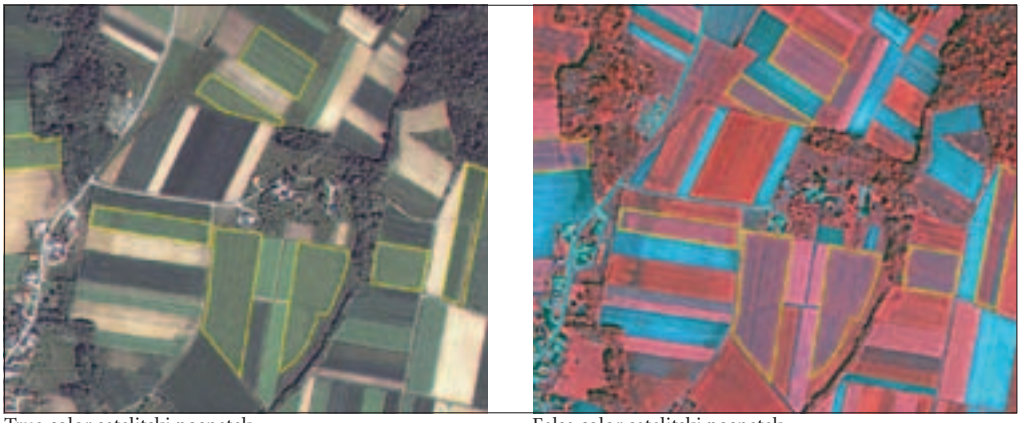
Kljub temu, da je ječmen že na obeh satelitskih posnetkih začel rasti, je jasno vidna razlika v spektralnem podpisu te kmetijske kulture. V času snemanja satelita QuickBird je ječmen že veliko svetlejši kot na posnetku Ikonos, saj so v tistim času to kulturo že želi in pospravljali iz njiv. V obeh primerih se je to kmetijsko kulturo lahko določilo iz satelitskih posnetkov s fotointerpretacijo.

Kot je razvidno iz slike 8 v času snemanja Ikonos posnetka se faza rasti za koruzo še ni začela, zato je bilo v tem primeru nemogoče določiti koruzo s pomočjo fotointerpretacije.



True color satelitski posnetek False color satelitski posnetek

Slika 5: Primer ječmena na satelitskem posnetku QuickBird z dne 17. 6. 2007



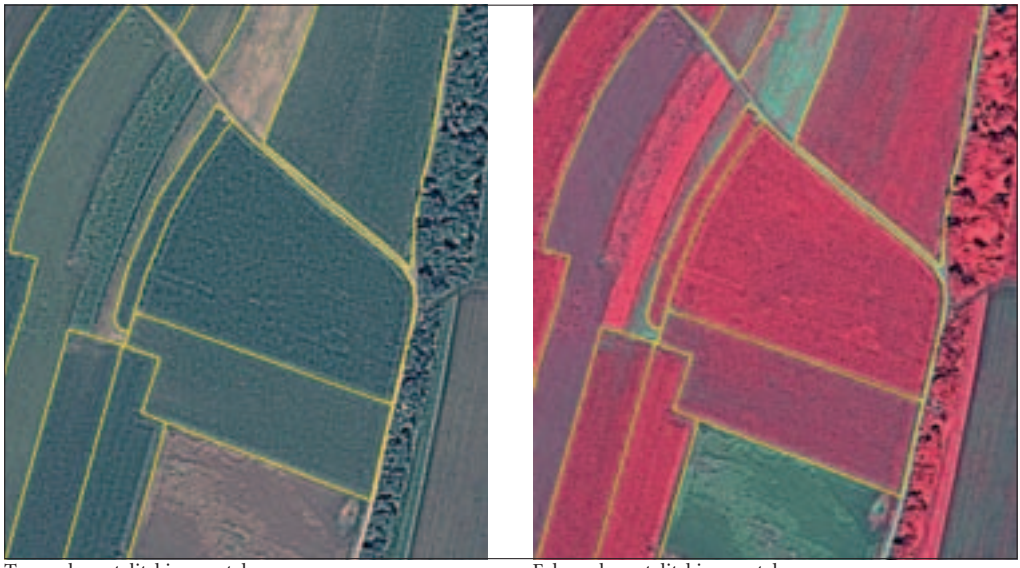
True color satelitski posnetek False color satelitski posnetek

Slika 6: Primer ječmena na satelitskem posnetku Ikonos z dne 15. 5. 2007

3.3 Avtomatska klasifikacija kot pomoč fotointerpretaciji

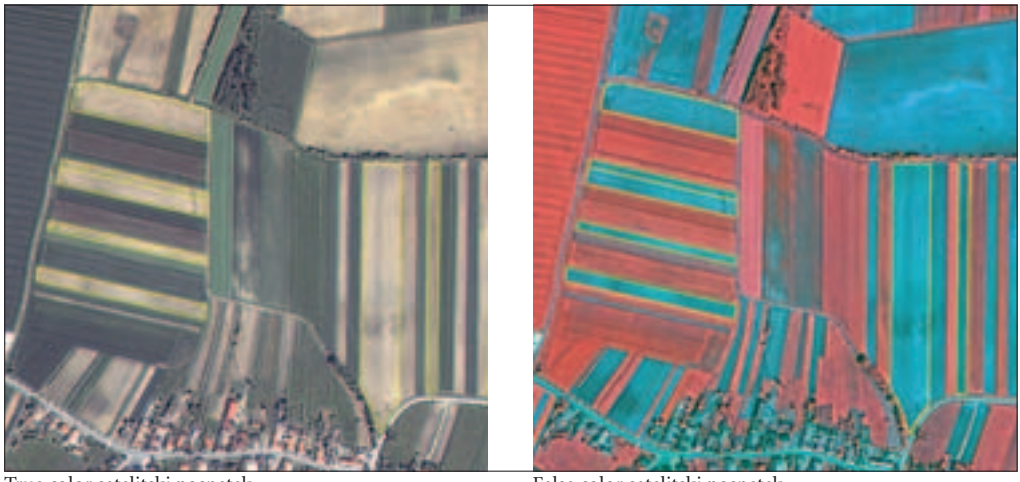
Področje Slovenije, zaradi svojih izjemnih naravnih lastnosti in razdrobljenosti njiv, zahteva posebno obravnavo tehnik avtomatske klasifikacije. Zavedati se moramo, da so metode avtomatske klasifikacije večinoma izredno uspešne za prepoznavanje rastlin na velikih in ne toliko na manjših območjih. Specifičnost Slovenije se kaže v izredni razdrobljenosti kmetijskih gospodarstev na kmetijske kulture z relativno majhno površino.

Zaradi navedenih lastnosti Slovenije se je v okviru kontrole z daljinskim zaznavanjem na izbranem območju uporabilo tudi metodo avtomatske klasifikacije. Namen testa uporabe metod avtomatske kla-



True color satelitski posnetek False color satelitski posnetek

Slika 7: Primer koruze na satelitskem posnetku QuickBird z dne 17. 6. 2007



True color satelitski posnetek False color satelitski posnetek

Slika 8: Primer koruze na satelitskem posnetku Ikonos z dne 15. 5. 2007

sifikacije je bila predvsem ta, da se ugotovi uporabnost metode na konkretnem primeru kmetijskih gospodarstev v Sloveniji.

Za potrebe uporabe metode avtomatske klasifikacije, so bili za izbrano območje, poleg VHR posnetka QuickBird z dne 17. 6. 2007, pridobljeni tudi trije posnetki HR SPOT z visoko ločljivostjo (*High Resolution*), ki so bili posneti v različnih časovnih obdobjih:

- pomladni posnetek z dne 17. 4. 2007,
- poletni posnetek z dne 05. 7. 2007 ter
- poletni posnetek z dne 19. 7. 2007.

Posnetki območja iz različnih časovnih obdobij so bili nujno potrebni za identifikacijo različnih vrst kultur, saj so različne rastlinske vrste v posameznih časovnih obdobjih v različni fazi rasti. Posnetki iz različnih časovnih obdobij omogočajo boljše prepoznavanje različnih rastlinskih vrst v postopku avtomatske klasifikacije.

Na podlagi rezultatov avtomatske klasifikacije je bilo ugotovljeno, da je bila ta metoda v veliko pomoč fotointerpretaciji posebno pri prepoznavanju pšenice, koruze za zrnje, silažne koruze, oljne ogrščice in trajnih travnikov.

4 Sklep

Na osnovi uporabljenih virov za izvedbo obdelave pridobljenih satelitskih posnetkov visoke in zelo visoke ločljivosti (HR in VHR) smo dosegli zadovoljive rezultate, ki so zadostili zahtevam tehničnih specifikacij za izvedbo projekta CwRS v letu 2007.

Določanje kmetijskih kultur s fotointerpretacijo iz satelitskih posnetkov se je izkazalo kot zelo učinkovito, saj je bilo s to metodo na izbranem območju določeno blizu 80 % vseh kmetijskih kultur. Razloga da odstotek ni bil višji, sta bila predvsem prekritost območja z oblaki in majhen vzorec določenih kmetijskih kultur, ki jih prav zaradi tega nismo mogli vključili v postopek fotointerpretacije.

V okviru testa uporabe metod avtomatske klasifikacije smo ugotovili, da je metoda uporabna za ugotavljanje kmetijske kulture. Vendar z avtomatsko klasifikacijo ni mogoče določevati vseh vrst kmetijskih kultur, ampak je potrebno narediti optimalen izbor. Kriteriji izbora kultur glede na površino, pogostost in specifičnost določene kulture, ki smo jih uporabili v testnem primeru so se izkazali kot zelo učinkoviti. Na podlagi analize rezultatov klasifikacije lahko trdimo, da je metoda klasifikacije primerna za površine kmetijskih kultur večjih od 0,5 ha, pri čemer oblika njive ni izrazito podolgovata (izredno ozka in dolga).

Pri odločitvi o uporabi avtomatske klasifikacije za prepoznavanje določene vrste kulture je bistveno presoditi o racionalnosti uporabe avtomatske klasifikacije glede na težavnost določitve spektralnih lastnosti posamezne kulture in glede na koristi, ki jih bomo imeli, če se bo ta kultura določevala z avtomatsko klasifikacijo.

Iz vsega povedanega lahko zaključimo, da je prihodnost nadaljnjega prepoznavanja kmetijskih kultur v uporabi in povezovanju obeh medtod, tako fotointerpretacije kot tudi avtomatske klasifikacije.

5 Viri in literatura

ERDAS Field Guide, Geospatial Imaging, LLC Norcross, Georgia.

Medmrežje 1: http://www.gis.usu.edu/unix/imagine/FieldGuide.pdf (3. 3. 2007).

Leica Photogrammetry Suite, Project Manager, User's Guide; Geospatial Imaging Norcross, Georgia.

Medmrežje 2: ftp://ftp.gi.leica-geosystems.com/software/IMAGINE/IEE_Download/IEE_User_Guide.pdf (3. 3. 2007).

Projekt izvajanja kontrole na kraju samem pred izplačili za ukrepe skupne kmetijske politike v letih 2007–2010, sklop3: »Kontrola površin z daljinskim zaznavanjem«, 2007. Naročnik: Agencija Republike Slovenije za kmetijske trge in razvoj podeželja (ARSKTRP), izvajalci: Geodetski zavod Celje, Geodetski zavod Slovenije, Geodetski inštitut Slovenije. Zaključno poročilo projekta, ARSKTRP. Ljubljana.

Projekt »Okoljsko in hidrološko upravljanje ter upravljanje z zemljišči: inovativne rešitve za območja CADSES« (ENvironmental, HYdrologic and Ground MAnagement: innovative solutions for the CADSES areas), 2007. Naročnik: INTERREG IIIB CADCES, izvajalci: Unione Veneta Bonifiche (Italija), Envitest Environment Protection kft. (Madžarska), Agricultural University of Athens (Grčija),

National Institute of Oceanography and Experimental Geophysics of Trieste (Italija), Povodi Odry (Češka), Geodetski inštitut Slovenije. Zaključno poročilo projekta, Ministrstvo za okolje in prostor. Ljubljana.

Satelitski posnetki:

Ikonos posnetki: »Distributed by European Space Imaging, EUSI. 2007«.

QuickBird posnetki: »Distributed by EURIMAGE S. p. A. DIGITALGLOBE 2007«.

MODEL MEDMREŽNEGA SISTEMA ZA PODPORO ODLOČANJU PRI IZBIRI LOKACIJ ZA INDUSTRIJSKE CONE

Igor Bizjak
Urbanistični inštitut Republike Slovenije
igor.bizjak@uirs.si

UDK: 711.554:659.2:004
COBISS: 1.17

IZVLEČEK
Model medmrežnega sistema za podporo odločanju pri izbiri lokacij za industrijske cone
V prispevku bo predstavljen model medmrežnega sistema za podporo odločanju, ki temelji na odprtokodnem MapServer GIS sistemu. Model omogoča iskanje in izbiro najprimernejših lokacij za industrijske cone na podlagi večkriterijskega vrednotenja prostora. Kriteriji, ki se upoštevajo so: prostorski, ki temeljijo na prostih že določenih conah, skladno s prostorskim planom; sociološki kriteriji, ti upoštevajo prosto delovno silo v okolici cone; infrastrukturni kriteriji, upoštevajo komunalno infrastrukturno opremljenost cone, kot tudi bližino prometnih poti; okoljevarstveni kriteriji, ti upoštevajo varovalne cone določene s prostorskim planom ter lastniški kriteriji, ki opredelujejo lastništvo zemljišč v coni. Model omogoča tudi določevanje uteži kriterijev, kar vnese v model možnost odločanja.

KLJUČNE BESEDE
medmrežni informacijski sistem, geografski informacijski sistem, GIS, podpora odločanju, industrijske cone.

ABSTRACT
Model of Web based spatial decision support system for industrial site selection
This article introduces the model of the internet decision making support system based on an open code MapServer GIS system. This model by multicriterial evaluation of urban spaces enables decision making when searching for most adequate locations of industrial zones. The decision making criteria are spatial, based on available zones, defined by urban plans. Further, sociological criteria considering labour force available in the vicinity, infrastructural criteria considering public utility infrastructure present as well as the traffic infrastructure, environmental criteria that overlook protected zones defined by urban plans and finally proprietorial criteria in the zones. The model also enables applying weights to specific criteria and thus introduces a possibility of decision making.

KEY WORDS
spatial decision support system SPPO, WEB spatial decision support system, geographical information system, GIS, industrial zones.

1 Izhodišča

GIS sistemi so osnova, ki jo je mogoče nadgraditi. Ena takih nadgradenj je sistem za podporo prostorskemu odločanju (SPPO) ali *Spatial Decision Support System* (SPPO). Namen SPPO sistemov je pomagati sprejemati prostorske odločitve, kot je primer določanja površine za izgradnjo objektov, iskanja primerne lokacije za odlagališče strupenih odpadkov, urbanizacije določenega prostora ali določanja poplavnih področij (Sugumaran in Sugumaran 2005). Vse te odločitve imajo izrazito prostorski pomen in za njihovo izvajanje potrebujemo prostorske podatke, orodje, ki te podatke lahko analizira in orodje, ki omogoča izdelavo analiz, uporabniku za podporo odločanju.

SPPO sistemi so nastali iz neprostorskih sistemov za podporo odločanju (*Decision Support System* – DSS). Ideja o SPPO sistemu se je razvila sredi osemdesetih (Armstrong, Densham in Rushton 1986) in do začetka devedesetih so jo že začeli povezovati z GIS sistemi kot rastočo vejo na področju informacijskih tehnologij. Vendar so SPPO sistemi na GIS področju precej neprepoznavni, verjetno tudi zato, ker SPPO sistemi vključujejo veliko tehnik z različnih področij, ki niso nujno povezane s področjem, ki ga obvladuje GIS (Keenan 2003, 28). Neprepoznavnost se kaže tudi po majhnem številu raziskovalnih člankov s tega področja.

Večina DSS sistemov temelji na tem, da mora tak sistem vsebovati bazo podatkov, vmesnik in modelirnik, ki je usmerjen k razrešitvi specifičnega problema (Sprague 1980). SPPO lahko potemtakem opišemo kot DSS, ki poleg naštetega vsebuje še prostorsko razsežnost. SPPO potrebuje tudi opredeljene tehnike modeliranja, ki jih ni moč najti v osnovnem GIS programskem paketu (Keenan 2003, 28). Sredi devetdesetih let prejšnjega stoletja, ko je medmrežje postalo bolj uporabljeno, sta tako DSS in GIS dobila priložnost uporabe kot medmrežna aplikacija. Prednost medmrežja se kaže v dostopnosti takih sistemov veliko večjemu krogu uporabnikov. Pri tem se odpirajo tudi nove možnosti uporabe SPPO sistemov, kot je beleženje javnega mnenja, participativno planiranje in podpora skupinskemu odločanju (Rinner 2003, 14). Raziskovalci s tega področja priznavajo, da je to področje premalo raziskano, vendar se zanimanje za razvoj medmrežnih SPPO ali Web SPPO sistemov za podporo odločanju povečuje (Sugumaran, Sugumaran 2005; Rinner 2003).

2 Metodologija

Glavna komponenta medmrežnih SPPO sistemov so funkcije, ki omogočajo izbiro med ponujenimi možnimi izbirami. Take komponente imajo vključene algoritme, ki omogočajo rangiranje možnih izbir na podlagi atributov (Rinner 2003). GIS je pri tem samo del SPPO sistema, v katerem se njegove funkcije uporabijo glede na potrebe uporabnika. Ta je ključ do zasnove SPPO sistema, saj s svojimi raznolikimi zahtevami vpliva ne samo na vmesnik sistema, temveč tudi na samo bazo podatkov in sestavine sistema. Zato mora uspešen SPPO sistem omogočiti izdelovalcu sistema možnost, da le-ta pri izdelavi lahko upošteva uporabnikove zahteve in naredi prožen sistem, ki je pisan na kožo uporabnika (Keenan 2003). Keenan predlaga, da bi uporabnike SPPO sistemov razdelili na tri skupine. Prvo skupino naj zasedajo uporabniki iz tradicionalnih GIS področij, kot so geologija, gozdarstvo, prostorsko planiranje. V drugo skupino bi lahko uvrstili uporabnike na področju usmerjanja prometa in lokacijskih storitev. V zadnjo, tretjo skupino, pa uporabnike s področja marketinga, kjer do sedaj niso veliko uporabljali prostorskih podatkov (Keenan 2004).

Medmrežni SPPO sistemi morajo poleg zgoraj naštetega zadostiti še pogoju večuporabnosti, kar pomeni, da je sistem uporaben za več uporabnikov hkrati in delovanje v medmrežju, kjer se osnovne funkcije sistema, kot so baza podatkov, programska logika in prezentacija rezultatov prenašajo med strežnikom in odjemalcem (Peng in Tsou 2003). Internetne SPPO sisteme lahko razdelimo na sisteme, ki tečejo na strani stežnika (*server-side*), na strani odjemalca (*client-side*) in mešane sisteme. Pri sistemih, ki tečejo na strani strežnika, odjemalec preko HTML obrazca sporoči strežniku zahtevo po

podatkih, na strežniški strani se podatki pripravijo in v obliki slike pošljejo nazaj odjemalcu. Ti sistemi so najdlje na voljo uporabnikom, saj so se v literaturi pojavili že leta 1996. Pri mešanih sistemih večjo vlogo na odjemalčevi strani prevzamejo posredovani javanski programčki *(Java applet*), ki omogočajo večjo interaktivno prožnost za uporabnika sistema. Taki sistemi so primerni za participacijo s strani uporabnikov v obliki diskusij. V zadnji kategoriji sistemov, ki delujejo na strani odjemalca, je glavni program na uporabnikovem računalniku, ta opravi vse analize in modeliranje, na strani strežnika pa je samo baza podatkov, do katere dostopa odjemalec (Šumrada 2001, 560; Rinner 2003, 14).

3 Opis naloge

Namen predstavljenega sistema je omogočiti možnim vlagateljem, tujim in domačim, lažje iskanje primernih površin, ki so po urbanističnih načrtih občin, v katerih ležijo, namenjene industrijski rabi. Z vstopom Slovenije v Evropsko unijo so se odprle možnosti vlaganja tujim vlagateljem, ki so pripravljeni investirati v Sloveniji. Večina občin ima v svojih prostorskih načrtih že odrejene površine za industrijske cone. Nekatere od teh so že pripravljene, imajo zgrajeno infrastrukturo, druge so samo v urbanističnih planih. Ker je takih con v Sloveniji kar precej, jih ni enostavno poiskati, preprosto zato, ker niso nikjer enotno zbrani podatki o stanju, v katerem se trenutno nahajajo. Na Urbanističnem inštitutu Republike Slovenije in na Javni agenciji Republike Slovenije za podjetništvo in tuje investicije (JAPTI) je nastala ideja, da se pripravi spletno stran, ki bi ponudila možnost iskanja industrijskih con ter pri tem s pomočjo SPPO orodij omogočala tudi izbiro najbolj ustreznih con, ki bi ustrezale željam in zahtevam investitorja.

V ta namen je bil pripravljen vprašalnik, ki opredeluje vsako industrijsko cono z atributi. Ti so osnova za pripravo podatkovne baze, ki je povezana s prostorskimi podatki con (poligoni) in so razdeljeni v štiri vrste:

- 1. urbanistični kriteriji opredeljujejo umeščenost cone v urbanistične načrte, njeno velikost in vsebino cone, če je ta že pozidana do neke mere;
- 2. infrastrukturni kriteriji so namenjeni prepoznavanju infrastrukturne opremljenosti in dostopnost cone za logistične potrebe;
- 3. sociološki kriteriji opredeljujejo dostopnost cone za zaposlene in odstotek brezposelnosti v regiji;
- 4. okoljevarstveni kriteriji služijo odkrivanju bližine varovalnih con, kar posledično lahko vpliva na vsebino planirane dejavnosti, kateri je namenjena cona.

V večini primerov bi morala že sama umeščenost cone v prostor po veljavnih prostorskih načrtih zagotoviti potrebno oddaljenost od zaščitenih območij, vendar se lahko vrste dejavnosti kasneje spremenijo in je potrebno ponovno preverjanje ustreznosti.

Pri iskanju con, kjer je na voljo veliko kriterijev, na podlagi katerih se lahko odloča, je možnost, da se med iskanimi naleti na odgovarjajočo, zelo majhna. Če nič drugega, bo le-ta odstopala od želene velikosti. Investitor želi na primer pridobiti 1000 m^2 veliko območje, kjer bi postavil proizvodno halo. Pri tem bi potreboval močnejši vir elektrike, ker je njegova proizvodnja energetsko potratna. Zaposliti namerava okoli 300 delavcev, kar pomeni, da mora biti v predlagani regiji število brezposelnih z ustrezno izobrazbo. Verjetnost, da bi v bazi podatkov našel cono v velikosti natančno 1000 m^2 je zelo majhna, ker je zapis velikosti cone natančen podatek, nobena cona pa ni natančno 1000 m^2 velika. Enako velja za porabo elektrike in ostale zahteve.

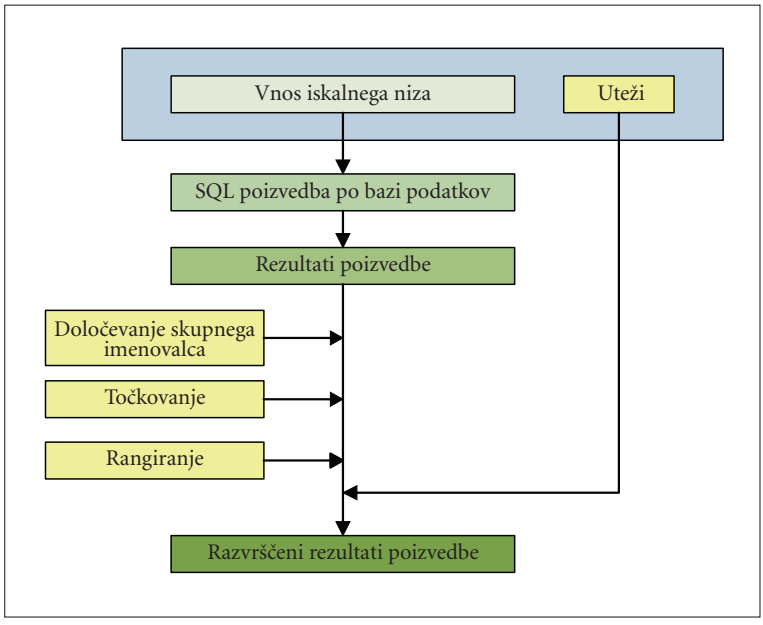
Obstaja več metod, po katerih se lahko razreši probleme več kriterijskega odločanja (Fülöp 2004). V obravnavanem primeru je bila najbolj uporabna metoda Multi-attribute Utility Theory (MAUT), ki jo je bilo potrebno prirediti za potrebe naloge. Osnova MAUT metode je, da uporaba uteži deluje na ponujene rešitve le v primeru, ko so seštevki ponujenih rešitev na istem skupnem imenovalcu. Metoda uporablja funkcije, ki lahko spremenijo različne vrednosti surovih podatkov ponujenih rešitev v skupno lestvico, na podlagi katere se jih lahko primerja ali jim določi uteži.

Preglednica 1: Kriteriji za opredelitev ustreznosti con.

urbanistični kriteriji	
ime cone	opisno ime cone
velikost cone	velikost cone v ha
zasedenost cone	zasedenost v % od celotne cone
možnost širitve cone	možnost širitve cone v ha na sosednja zemljišča
prostorski izvedbeni akt	veljavni akti, ki veljajo za cono: 1. občinski prostorski načrt 2. občinski podrobni prostorski načrt 3. občinski lokacijski načrt 4. zazidalni načrt 5. lokacijski načrt 6. ureditveni načrt 7. prostorski ureditveni pogoji
stanje izvedbenega akta	1. veljaven 2. v pripravi
površina izgrajenih in prostih poslovnih objektov v coni	površine že izgrajenih objektov v m^2
namenska raba območja cone po planu	možne dejavnosti, ki so opredeljene po planu
namenska raba prostora v coni	možne dejavnosti, ki so opredeljene po planu
ime in dejavnost sedanjih uporabnikov cone po standardni klasifikaciji dejavnosti	opisno, za vsakega uporabnika ime in dejavnost po klasifikaciji
struktura poslovnih subjektov po standardni klasifikaciji dejavnosti	dejavnosti poslovnih subjektov v %
infrastrukturni kriteriji	
oddaljenost cone od priključka na ac/hc v km	oddaljenost v km
oddaljenost cone do državnega železniškega omrežja	1. oddaljenost do potniške postaje v km 2. oddaljenost do tovorne postaje v km 3. oddaljenost priključka industrijskega tira v km
oddaljenost cone do najbližjega javnega letališča/heliporta za mednarodni zračni promet	oddaljenost od najbližjega letališča v km
moč priključka na elektroenergetsko omrežje	moč priključka v kw
možnost priključka na optokabelsko omrežje	(da/ne)
možnost priključka na telefonsko omrežje	(da/ne)
možnost priključka na plinovodno omrežje	(da/ne)
možnost priključka na toplovodno omrežje	(da/ne)
možnost priključka na vodovodno in kanalizacijsko omrežje	(da/ne)
možnost priključka na omrežje tehnološke vode/pare	(da/ne)
možnost priključka na industrijsko ogrevanje	(da/ne)
oddaljenost cone do logističnega terminala	oddaljenost v km

lastniški kriteriji	
lastništvo zemljišča cone	1. zasebno 2. javno 3. drugo
sociološki kriteriji	
oddaljenost cone do terminala javnega potniškega prometa	oddaljenost v km
parkirna mesta	število parkirnih mest v coni
brezposelnost	stopnja brezposelnosti v občini v %
okoljevarstveni kriteriji	
oddaljenost do varovalne cone	oddaljenost v km od meje cone

Določene funkcije, ki pomagajo zmanjšati količino iskanih rešitev, so velikokrat že vgrajene v GIS sistem ali relacijske baze, če se le-te uporabljajo v sistemu (Chakhar, Mousseau 2007). Ker so območja shranjena v bazi podatkov, je prvi korak pri iskanju želenih con poizvedba po conah, ki se približno ujemajo z zahtevanimi pogoji. Glede na količino atributnih podatkov, s katerimi je opisana vsaka cona, je nujno, da ponujene rešitve, najprej prevede na skupni imenovalec. V obravnavanem primenu je veliko raznolikih atributnih podatkov, ki imajo med seboj zelo različne vrednosti. Od preprostih »da« in »ne«, preko površin con, odstotkov brezposelnih, tipov prostorskih načrtov in podobno. Za vsakega od atributnih podatkov je zaradi tega potrebno določiti mejne vrednosti oziroma način točkovanja, ki še zadosti



Slika 1: Shema uporabljene več kriterijske metode.

pogojem skupnega imenovalca, ki privede do želenega rezultata. Ob tem je bil postavljen pogoj, da je najbolj ugodna rešitev tista, ki dobi največje število točk. Po vsaki končani osnovni poizvedbi se prešteje število dobljenih poizvedb in to število uporabi kot največje možno število točk, ki se ga dodeli posameznemu atributu, ki je najbližji iskani vrednosti. Na tak način se vsako dobljeno poizvedbo točkuje tako, da vrednost, ki je najbližja iskani vrednosti, dobi največje število točk, vrednosti, ki se od iskane vrednosti oddaljujejo, pa temu primerno manjše število točk. Na koncu se točke sešteje in seštevek predstavlja število točk, ki omogoča razvrstitev rezultatov.

Da bi lahko uporabnik vplival na poizvedbo in s tem tudi dejansko odločal ob rezultatih poizvedbe, se vsakemu atributu doda še ustrezna teža. Uteži omogočajo uporabniku, da pri poizvedbi določen atribut favorizira, če mu določi višji odstotek. Odstotek se odraža pri končnem seštevku točk, saj lahko odstotek, ki je manjši od 100 % zmanjša število dobljenih točk za vnešeni odstotek.

4 Izdelava GIS aplikacije in preizkus metode

GIS aplikacija mora omogočati dostop do baze podatkov in izvajanje poizvedb nad zbranimi podatki na čim enostavnejši možni način preko medmrežja. Programska oprema, ki je bila v ta namen uporabljena je MapServer, MS Access baza podatkov in rutine izdelane v okolju ActivServerPage.

MapServer je odprtokodno razvojno okolje za izdelavo medmrežnih GIS sistemov. Program in njegovo kodo lahko vsakdo prosto uporablja, jo dopolnjuje in izboljšuje. MapServer so razvili na Univerzi v Minnesoti v sodelovanju z NASO in z ministrstvom za naravne vire Minnesote (Department of Natu-

Slika 2: Glavna spletna stran.

ral Resources). Njegova prednost je tudi v tem, da deluje tako na spletnih strežnikih v MS Windows okolju, kot tudi na strežnikih v okolju linux. MapServer ni popoln GIS sistem, saj mu manjka veliko funkcij, ki jih imajo pravi GIS sistemi. Zato dopušča možnost, da se mu s pomočjo raznih skriptov kot so PHP, Java Script in Active Server Pages (ASP) doda manjkajoče funkcionalnosti in ga približa dani nalogi.

MapServer zna prikazovati shape datoteke, geokodirane tiff, jpg in png datoteke in je tako idealen za izdelavo geografsko orientiranih spletnih aplikacij, saj je v Sloveniji velika večina prostorskih podatkov na voljo prav v teh formatih. Tako odpade zamudno pretvarjanje iz formata v format, ki velikokrat vključuje tudi uporabo druge drage programske opreme, ki omogoča taka pretvarjanja.

Za potrebe aplikacije je bilo potrebno poleg uporabe MapServerja izdelati še nekaj dodatnih programskih rutin za izdelavo poizvedb in vnosa uteži ter kasneje za analizo večkriterijskega vrednotenja vhodnih podatkov. Te so bile izdelane s pomočjo ASP in MS accessove baze podatkov.

Spletna stran je bila zasnovana kot vstopna točka za tuje in domače investitorje, ki v Sloveniji iščejo možnosti za investiranje v gospodarske cone. Na prvi strani je predstavljena Slovenija in njen geografski položaj v Evropi skupaj z osnovnimi gospodarskimi podatki in kazalci. Uporabnik lahko z osnovne strani preko priloženega zemljevida regij vstopi v GIS del spletne strani. Vsaka regija je obravnavana ločeno od druge, iz preprostega razloga, ker ima vsaka regija svojo Regijsko razvojno agencijo (RRA), ki skrbi za promocijo in razvoj le-te. V GIS delu ima uporabnik na voljo vse ključne gospodarske podatke in gospodarske kazalce za izbrano regijo, skupaj s prostorskimi podatki v obliki plasti, kot so ceste, železnica, stavbe iz katastra stavb, parcele iz zemljiškega katastra, meje občin, digitalne podloge (TTN ter ortofoto) ter vse lokacije gospodarskih con v regiji, ki jih je pripravila RRA za svojo regijo. Vsak pro-

Slika 3: Regijski del spletnih strani.

storski podatek ima določeno število atributnih podatkov, ki jih je moč prikazati z info orodjem. Na podatkovnem sloju con je podatkov več, kot jih je možno vnesti v iskalnik. Ti se izpišejo, ko uporabnik izbere določeno cono. Prikazani podatki lahko med ostalimi vsebujejo tudi fotografije cone in okolice. Uporabnik ima na voljo večino potrebnih informacij, ki mu pomagajo pri odločitvi, na kateri lokaciji v Sloveniji investirati svoj kapital.

5 Sklep

Spletne strani bodo zelo uporabne za tuje vlagatelje, ki bodo lahko dobili osnovno informacijo o gospodarskem stanju v regiji, o prostih razvojnih conah v regiji in njihovi opremljenosti kakor tudi kontaktne naslove, ki jim bodo v pomoč pri nadaljevanju postopkov. Uporabne pa bodo tudi za RRA-je in občine, kjer si bodo z njimi pomagali pri posredovanju informacij morebitnim tujim in domačim vlagateljem.

Uporabnost modela in spletnih strani je v veliki meri odvisna od ažuriranja vnešenih podatkov. Ti se lahko mesečno spreminjajo in jih je zato tudi potrebno vsaj enkrat mesečno dopolniti. Ena od možnosti je, da to delo opravijo Regionalne razvojne agencije (RRA), ki veliko to vrstnih podatkov že zbirajo. Zato velja za nadaljevanje uporabnosti spletnih strani omogočiti agencijam, da lahko preprosto obnavljajo vnešene podatke. Veljalo bi razmisliti tudi o uporabi programov umetne inteligence, ki bi pomagali pri opredeljevanju potrebnih kriterijev za iskanje ustreznosti con v odvisnosti od namena uporabe oziroma od vrste programa, za katerega investitor išče ustrezno cono. Ravno tako velja razmisliti o načinih iskanja več parcel istega lastnika (na primer parcele v državni lasti), ki se med seboj stikajo, kar pomeni, da jih lahko brez večjega napora združimo v večjo cono.

6 Viri in literatura

Armstrong, M. P., Densham, P. J. in Rushton, G. 1986: Architecture for a microcomputer based spatial decision support system. Second International Symposium on Spatial Data Handling.

Chakhar, S., Mousseau, V. 2007: Spatial Multicriteria Decision Making. Medmrežje: http://www.lamsade.dauphine.fr/mcda/biblio/PDF/ChakharMousseauInbook2007b.pdf (29. 2. 2008).

Fülöp, F. 2004: Introduction to Decision Making Methods. Medmrežje: http://academic.evergreen.edu/projects/bdei/documents/decisionmakingmethods.pdf (29. 2. 2008).

Keenan, P. B. 2003: Spatial Decision Systems. Decision Making Support Systems, Achievements and challenges for the New Decade, Idea Group.

Keenan, P. B. 2004: Using a GIS as a DSS Generator. Medmrežje: http://dssresources.com/papers/features/keenan/keenan12172004.html (17. 12. 2004).

Peng, Z. R., Tsou, M. H. 2003: Internet GIS: Distributed Geographic Information Services for the Internet and Wireless Networks. Hoboken.

Rinner, C. 2003: Web-based Spatial Decision Support: Status and Research Directions. Journal of Geographic Information and Decision Analysis 7-1.

Sprague, R. 1980: A Framework for the development of Decision Support Systems, MIS Quarterly.

Sugumaran, V., Sugumaran, R. 2005: Web-based Spatial Decision Support System. (WebSDSS): Evolution, Arhitecture, and Chalenges. Third Annual SIGDSS Pre-ICIS Workshop.

Šumrada, R. 2001: Prehod od osrednje k porazdeljeni uporabi tehnologije GIS-ov. Geodetski vestnik 4. Ljubljana.

UPORABA LIDARSKIH PODATKOV ZA OBČINSKO PROSTORSKO NAČRTOVANJE IN UPRAVLJANJE

Nataša Kolega, Aljoša Žerjal, Boštjan Krapež, Petra Slavec
Harpha Sea, d. o. o. Koper
natasa@harphasea.si, cale@harphasea.si, bostjan@harphasea.si, petra@harphasea.si

UDK: 91:659.2:004(497.4Koper)
528.8:711(497.4Koper)
COBISS: 1.17

IZVLEČEK
Uporaba lidarskih podatkov za občinsko prostorsko načrtovanje in upravljanje
Oktobra 2007 je bilo na delu Mestne občine Koper izvedeno lidarsko snemanje oz. lasersko skeniranje površja. S to metodo daljinskega zaznavanja je bil pridobljen natančen digitalni model reliefa, hkrati pa tudi ortofoto posnetki visoke ločljivosti. Iz obojega se da razbrati številne informacije o prostoru (npr. pozidava, naklon površja, trajanje sončnega obsevanja), ki so v pomoč občinskim prostorskim načrtovalcem in upravljavcem. Z rednim snemanjem površja bodo v prihodnje odpravljene pomanjkljivosti v zdajšnjih bazah prostorskih podatkov, zmanjšan bo obseg terenskega dela, prostorski načrtovalci pa bodo imeli pregled nad dejanskim stanjem in spremembami v pokrajini.

KLJUČNE BESEDE
geografija, lidar, prostorsko načrtovanje, baze prostorskih podatkov, Mestna občina Koper

ABSTRACT
The use of lidar data for municipal spatial planning and management
In October 2007 the Municipality of Koper was partially scanned with lidar. With this method of remote sensing we obtained accurate digital elevation model (DEM) and precise orthophotographs. They are both useful for spatial planners to extract spatial information, update existing data and keep up to date with real state on terrain when making plans for future development.

KEY WORDS
geography, lidar, spatial planning, spatial information bases, Municipality of Koper

1 Uvod

Mestna občina Koper (MOK) sodi med površinsko večje (311 km^2), gosteje naseljene (158 prebivalcev/km^2) in reliefno razgibane občine (nadmorske višine od 0 do 1028 m) (Lovrečič 2008). Občinski prostorski načrtovalci se pri svojem delu pogosto srečujejo s težavami zaradi nenatančnih zbirk prostorskih podatkov, ki lahko vodijo v obsežno terensko delo. Oktobra 2007 je bilo pri snemanju z lidarjem posnetih približno 100 km^2 površine MOK. Iz pridobljenega natančnega digitalnega modela reliefa in ortofoto posnetkov so bili izdelani različni 3D modeli, ki med drugim omogočajo vrednotenje parcel in predstavljajo zanesljiv pripomoček pri izdelavi novega občinskega prostorskega načrta in strategije prostorskega razvoja ter določanju nadomestila za uporabo stavbnega zemljišča (NUSZ).

2 Težave pri prostorskem načrtovanju in upravljanju ter namen lidarskega snemanja

Prostorsko načrtovanje in upravljanje se je v zadnjem desetletju z uvedbo digitalnih prostorskih podatkov ter programov za njihovo uporabo in izdelavo bistveno spremenilo. Vendar pa je dejansko stanje še precej daleč od tega, da bi občinski prostorski planerji lahko vse svoje delo opravili v pisarni in s pomočjo računalnika. Veliko podatkov si morajo še vedno pridobiti na terenu z ogledom. V nekaterih primerih je terenski ogled neizogiben in ga ni mogoče nadomestiti, v drugih pa gre za že digitalizirane podatke, ki so netočni ali pomanjkljivi in jih je potrebno ponovno preveriti na terenu. Slednji so na primer evidenca hišnih številk (EHIŠ) in kataster stavb, posledično pa tudi centroidi za odmero NUSZ. Osnovna težava je, da se na območju Mestne občine Koper velik del centroidov EHIŠ ne nahaja na ustreznih položajih. Ker so bili v začetni fazi umestitve centroidov NUSZ kot referenca uporabljeni centroidi EHIŠ (GURS), ti pa niso nujno umeščeni znotraj stavb, jih je za potrebe prostorskih načrtovalcev in upravljavcev potrebno premakniti na ustrezne pozicije. Zlasti v strnjeno poseljenih območjih je za pravilno postavitev obeh omenjenih centroidov potrebno preverjanje na terenu. Kvaliteten ortofoto posnetek visoke ločljivosti lahko to v mnogih primerih odpravi.

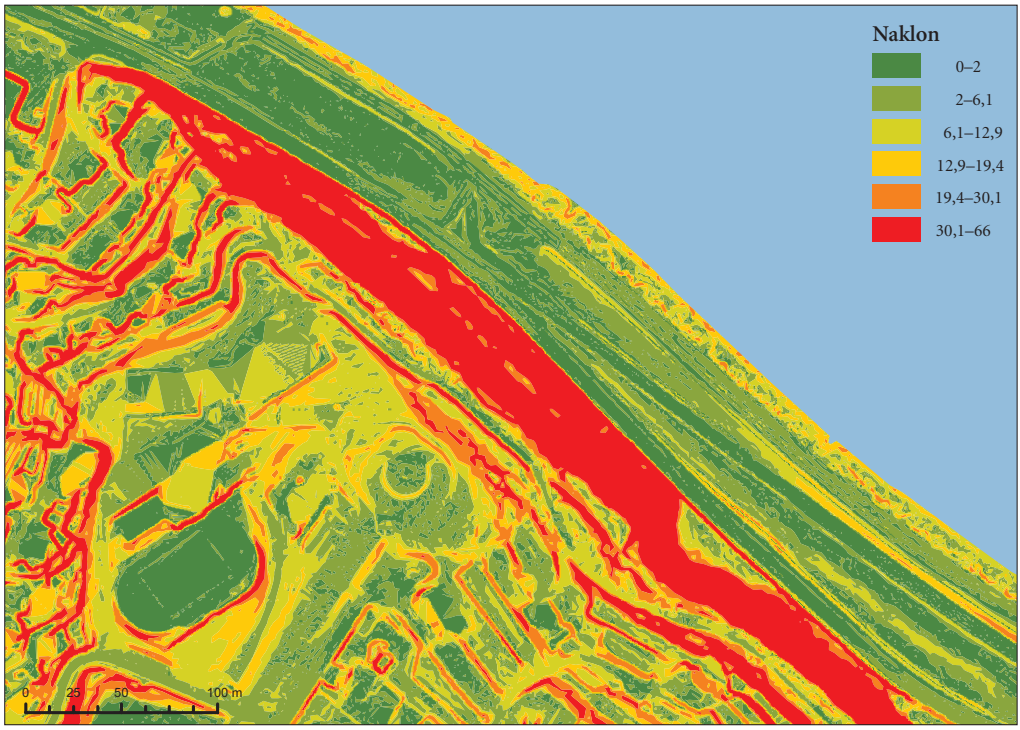
Pogosto so nepravilno zajeti tudi tlorisi v katastru stavb. Vrisani so npr. na območjih, kjer stavb dejansko ni, ali pa je več bližnjih zgradb zajetih kot ena sama. Tudi v teh primerih je običajno za uskladitev podatkov z realnim stanjem potrebno terensko preverjanje.

Terenskega dela se poslužujejo tudi za vrednotenje parcel ali odmerjanje NUSZ. Če je želel prostorski načrtovalec ustrezno oceniti neko parcelo z vidika primernosti za določeno uporabo ali jo zgolj cenovno ovrednotiti, je lahko nekatere informacije (npr. osončenost, vidnost morja) ugotovil le neposredno na terenu. Z uvedbo 3D modelov lahko vse potrebne informacije pridobi brez terenskega ogleda.

Z namenom reševanja omenjenih težav in odpravljanja zamudnih terenskih ogledov je bilo izvedeno lidarsko snemanje površja, s katerim smo poleg natančnih ortofoto posnetkov pridobili tudi zelo natančen digitalni model reliefa, na katerem je mogoče izvesti številne uporabne analize za prostorsko načrtovanje in upravljanje s prostorom.

3 Uporaba 3D podatkov in natančnih ortofoto posnetkov za potrebe prostorskega resorja na Mestni občini Koper

Osnova za izdelavo 3D modela je bil digitalni model višin z velikostjo celic 0,5 krat 0,5 m iz katerega je bil nato narejen osnovni rastrski sloj z enako velikostjo celic. Iz osnovnega rastrskega sloja, ki je prikazoval nadmorske višine, so bili izdelani še naslednji podatkovni sloji: ekspozicija površja, naklon površja, osenčenost površja, prejeta sončna energija na dan 21. december, prejeta sončna energija na dan 21. junij, vidnost morja in oddaljenost od obale. Vrednosti celic rastrskih slojev so bile razvrščene

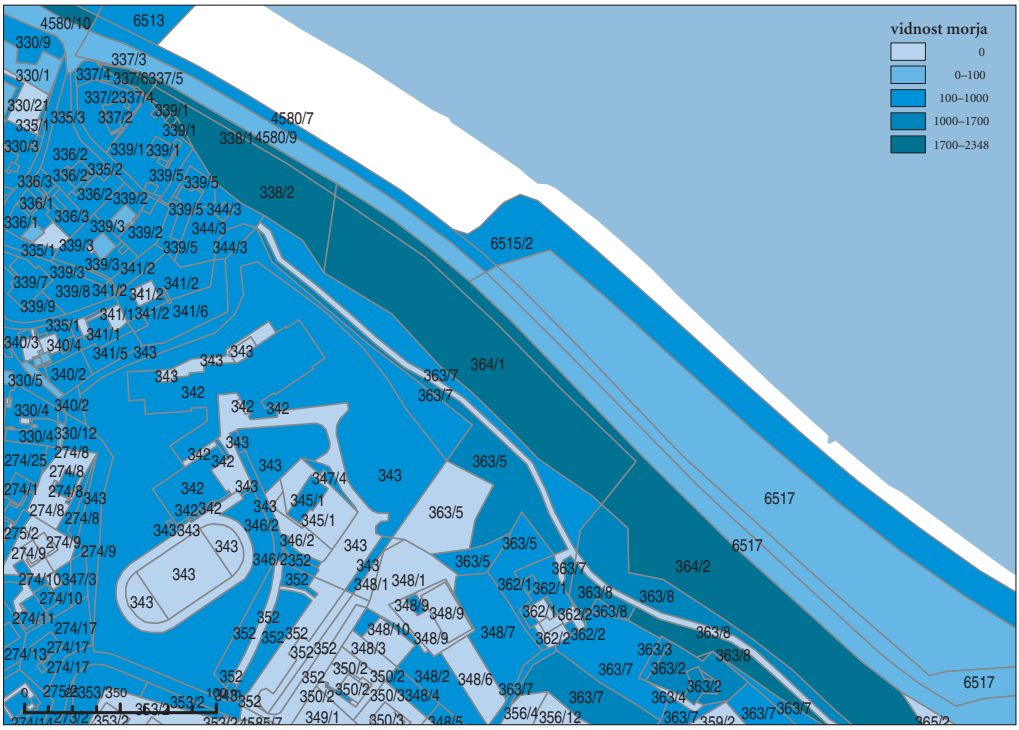


Slika 1: Nakloni površja.

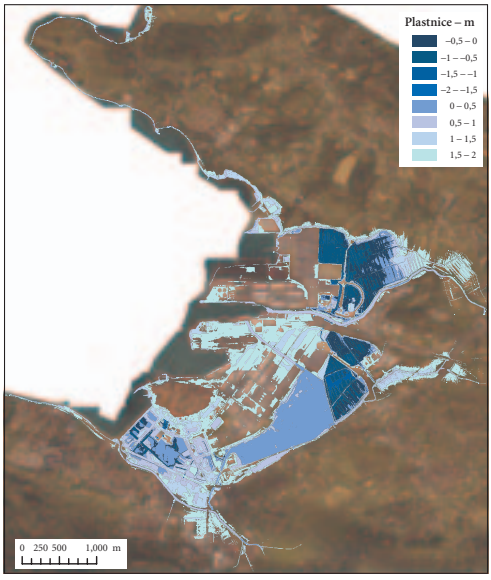
v ustrezne razrede za prikaz, ti pa so bili določeni na podlagi upoštevanja maksimalnih, minimalnih in značilnih vrednosti za posamezen podatkovni sloj. Rastrski sloji so bili v nadaljevanju predelani še v poligonske sloje, ki so za nekatere obdelave primernejši. Ustrezne vrednosti iz vseh naštetih slojev so bile kot opisni (atributni) podatki dodane k parcelam, v primerih, ko se na parceli pojavlja več vrednosti, pa je bil dodan še odstotek, ki ga pokriva prevladujoča.

V kratkem bo možnost ogleda 3D podatkov dodana v spletni pregledovalnik, ki ga pri vsakdanjem delu uporabljajo občinski prostorski načrtovalci. Na poljubni točki jim bo tako poleg že dostopnih prostorskih podatkov o komunalni infrastrukturi, prostorskih planih, namenske rabe zemljišč, prostorskih izvedbenih planov ipd. na voljo še ogled točke na digitalnem modelu reliefa in v kombinaciji z različnimi podatkovnimi sloji. V veliko pomoč so lahko tudi podatki o stavbah, pridobljeni s klasifikacijo lidarskih točk, saj vsebujejo natančne informacije o legi, višini in velikosti vsake stavbe. Kot vse sloje je tudi sloj stavb mogoče uporabljati tako v dvodimenzionalnem (zlasti v obliki tlorisov) kot v tridimenzionalnem okolju in z njiju razbirati različne informacije.

Osnovni namen 3D modela je pomoč pri ustreznem odmerjanju NUSZ. Ker je stopnja prispevka določena po kriterijih, ki upoštevajo lokacijske in druge prednosti posameznih stavbnih zemljišč (gostoto javnih funkcij in poslovnih dejavnosti, dostopnost z javnimi prometnimi sredstvi, splošna opremljenost z infrastrukturo, ustrezna namenska raba po prostorskem dokumentu, konfiguracija terena, strategija razvoja posameznih območij), je natančnost podatkovnih slojev s temi informacijami ključna za dosledno izvajanje odloka (MOK 2005). Pri tem so v veliko pomoč natančni ortofoto posnetki, saj omogočajo usklajevanje in dopolnjevanje opisnih podatkov centroidov stavb brez terenskega preverjanja. Prav tako so lidarski ortofoto posnetki in točke ključnega pomena pri ugotavljanju razpršene gradnje oz. gradnje izven predvidenih območij pozidave (tudi črne gradnje), saj tovrstne objekte brez težav opazimo



Slika 2: Vidnost morja s posameznih parcel.



Slika 3: Plastnice z intervalom 0,5 m na območjih, kjer se pojavljajo višine gladine morja ob poplavah.

Slika 4: Območja, ogrožena z vsakoletnimi izrednimi poplavami morja.

s pomočjo digitalnega katastra tudi identificiramo. V kolikor imamo lidarske točke klasificirane iz razreda stavb lahko določimo tudi osnovne značilnisti stavb, kot sta velikost in višina.

Lidarski podatki so uporabni tudi za namene civilne zaščite, v našem primeru za določanje območij, ogroženih z morskimi poplavami. Na digitalnem modelu višin (vertikalna ločljivost 0,1 m) starega mestnega jedra Kopra ter obale do Žusterne so bile prikazane na podlagi dolgoletnih povprečnih ter izjemnih vrednosti izračunane višine gladine morja ob poplavah. Sledila je izdelava rastrov z vrednostmi od –2 do 2 m nadmorske višine za območja, kjer se te višine pojavljajo. V tem razponu so bile nato izdelane plastnice v intervalu 0,5 m. Pri analizi reliefnih značilnosti območja smo upoštevali ovire, ki preprečujejo razlitje vode v notranjost in natančneje omejujejo poplavno območje, nato pa podatke z digitalnega modela višin razvrstili v razreda, ki ustrezata vrednostim izjemnih in vsakoletnih poplav morja. Končni rezultat sta karti poplavnih območij in prostorski sloji poplavnih območij ob vsakoletnih in izjemnih poplavah morja za nadaljno uporabo pri prostorskem načrtovanju.

4 Sklep

V kratkem bo v MOK izvedeno lidarsko snemanje preostalega dela občine, saj se je izkazalo za izjemno uporabno pri prostorskem načrtovanju in upravljanju s prostorskimi podatki. Ob rednem posodabljanju lidarskih podatkov bo možno v kratkem vzpostaviti zanesljive, natančne in lahko dostopne podatkovne baze za območje cele občine. V prihodnosti naj bi lidarsko snemanje postalo ciklično (npr. na vsakih 3–5 let) in tako po nekaj letih omogočalo tudi časovni pregled sprememb v prostoru, kar bo zaradi številnih posegov, zlasti v urbanem delu, zelo uporaben podatek. Na tak način bo občinskim prostorskim načrtovalcem in upravljalcem tudi prihranjeno terensko delo, hkrati pa dosežena večja učinkovitost in hitrost pri uresničevanju prostorskih planov.

5 Viri in literatura

Lovrečič, G. 2008. Osnovni in statistični podatki MOK. Medmrežje: http://www.koper.si/podrocje.aspx?id=506 (7. 3. 2008).

MOK. 2005: Odlok o nadomestilu za uporabo stavbnega zemljišča v Mestni občini Koper. Uradne objave 42-3, Popravek odloka UL RS 14/2005, spremembe in dopolnitve Odloka UL RS 113/2005), medmrežje: http://www.koper.si/povezava.aspx?pid=684 (7. 3. 2008).

METODOLOGIJA ZA IZBOLJŠAVO IN HARMONIZACIJO GEODETSKIH PODLAG ZA POTREBE ČEZMEJNEGA PROSTORSKEGA NAČRTOVANJA

Blaž Barborič, Mihaela Triglav Čekada, Sandi Berk
Geodetski inštitut Slovenije
blaz.barboric@geod-is.si, mihaela.triglav@geod-is.si, sandi.berk@geod-is.si

dr. Mojca Kosmatin Fras
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani
mfras@fgg.uni-lj.si

UDK: 528.7:711(497.473:450.36)
COBIS: 1.16

IZVLEČEK
Metodologija za izboljšavo in harmonizacijo geodetskih podlag za potrebe čezmejnega prostorskega načrtovanja
Prostorske osnove na meji med dvema državama temeljijo na različnih koordinatnih sistemih in so različne tudi po vsebini. Članek predstavlja metodologijo, s katero je možno posodobiti in uskladiti geodetske podlage za potrebe lokalnega planiranja na testnem obmejnem območju Slovenije in Italije. Predstavljeni so rezultati projekta INTERREG IIIA s kratkim imenom HARMO-GEO, ki ga je vodila Mestna občina Nova Gorica, izvajal pa Geodetski inštitut Slovenije v sodelovanju z Univerzo v Vidmu. Slovenska in italijanska stran sta razvili in predstavili vsaka svojo rešitev. Obstoječe prostorske podlage smo uskladili v skupnem koordinatnem sistemu in izboljšali obstoječe podatke. Izvedli smo lasersko skeniranje Nove Gorice in izboljšali 3-razsežni model mesta.

KLJUČNE BESEDE
izboljšava kakovosti podatkov, izboljšava položajne natančnosti digitalnih katastrskih načrtov, sprememba koordinatnega sistema, uskladitev prostorskih podatkov na državni meji, prostorsko načrtovanje, lasersko skeniranje, GIS

ABSTRACT
Methodology for improvement and harmonization of spatial data for cross-border spatial planning
Spatial data and maps on the national border between two states usually refer to different coordinate systems and also differ in the contents. A common methodology that enables modernization and harmonization of spatial data and maps applied in local spatial planning is presented in the paper. The methodology has been developed in the test border area between Slovenia and Italy. The results of the project INTERREG IIIA, shortly named HARMO-GEO leaded by the Municipality of Nova Gorica, are presented. The project has been carried out by the Geodetic institute of Slovenia in cooperation with the University of Udine. The Slovenian and Italian partners have each developed and presented theirs own solution. The existing spatial data and maps have been harmonized in a common coordinate system and data has been improved. In addition, a 3-dimensional city model of Nova Gorica has been improved by high-resolution LIDAR data.

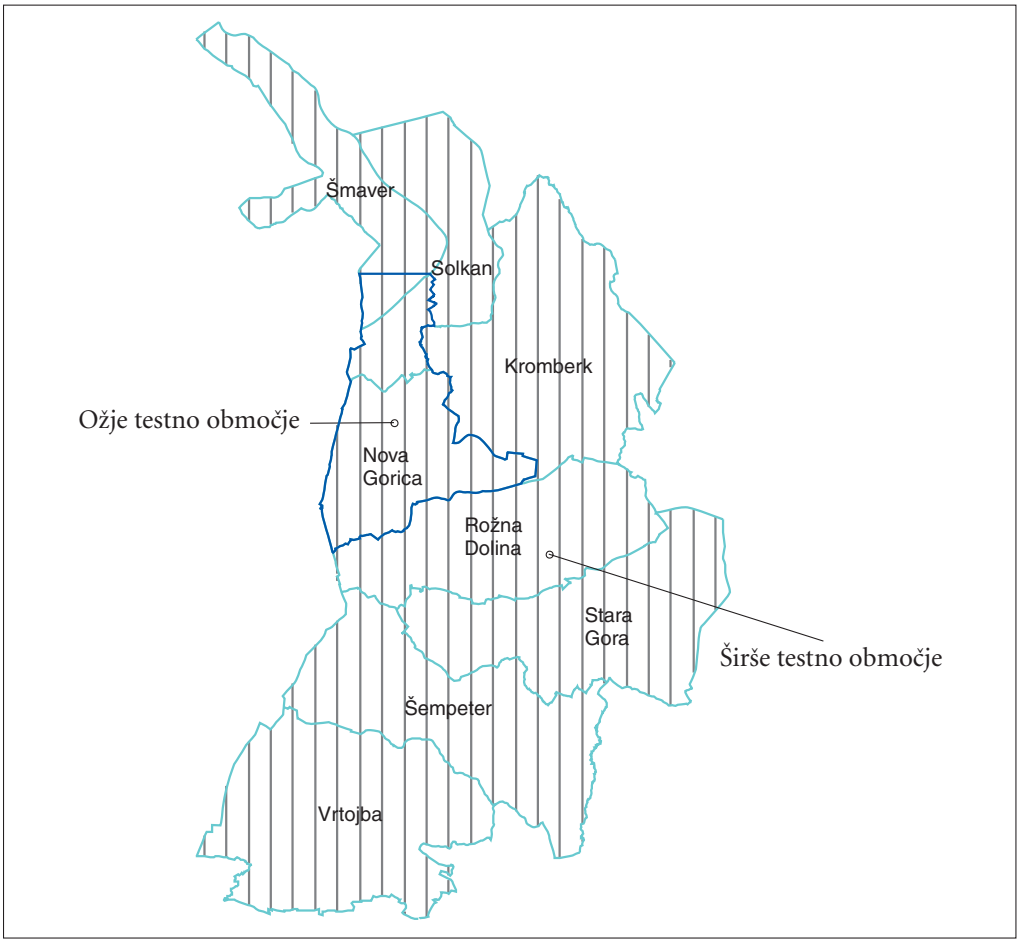
KEY WORDS
data quality improvement, improvement of positional accuracy of digital cadastral maps, change of coordinate systems, harmonization of spatial data at the national boundary, spatial planning, LIDAR, GIS

1 Uvod

1.1 Problematika čezmejnega prostorskega načrtovanja

Ažurne, kakovostne in vsebinsko zadostne prostorske podlage so nujna osnova za načrtovanje in spremljanje posegov v prostor oziroma vodenje prostorske politike v širšem smislu. Na meji med dvema državama prostorske osnove temeljijo na različnih koordinatnih sistemih in so različne tudi po vsebini. Osnovni cilj projekta INTERREG IIIA s kratkim imenom HARMO-GEO, je bil priprava skupnih prostorskih podlag za potrebe usklajenega prostorskega načrtovanja na obeh straneh državne meje (na območju dvomestja Gorica – Nova Gorica), pri čemer je bil poudarek na:

- izboljšanju kakovosti prostorskih podlag s poudarkom na novi tehnologiji zajema (lasersko skeniranje) in
- predelavi obstoječih prostorskih podlag zaradi harmonizacije le-teh, s poudarkom na novi tehnologiji geolociranja (GNSS) in na novih metodah obdelave obstoječih podatkov; pri slednjih sta slovenska in italijanska stran razvili in predstavili vsaka svojo rešitev.



Slika 1: Širše in ožje testno območje za harmonizacijo prostorskih podatkov z razdelitvijo na katastrske občine.

Harmonizacija podatkov je bila izvedena v dveh korakih, in sicer:
- harmonizacija podatkovnih slojev najprej znotraj posamezne države – za različne prostorske sloje velikih meril (1 : 5000 ali večja) ter
- harmonizacija podatkovnih slojev na obeh straneh meje (uskladitev na državni meji).

V predlaganem projektu smo izdelali skupno metodologijo, s katero je možno posodobiti in harmonizirati prostorske podlage za potrebe lokalnega planiranja na obmejnem območju Slovenije in Italije. Izvedli smo test na območju Nove Gorice, Šempetra - Vrtojbe in Gorice, ki je vključeval lasersko skeniranje ožjega mestnega območja Nove Gorice (nova tehnologija zajema podatkov) in izdelavo 3R-modela mesta iz vseh razpoložljivih podatkov.

1.2 Opis testnega območja in podatkov

V sodelovanju s projektnimi partnerji smo določili širše in ožje testno območje za harmonizacijo prostorskih podatkov. Širše in ožje testno območje smo zaradi boljše tematske predstavitve opredelili z razdelitvami na katastrske občine, naselja ter liste TTN5 (slika 1). Širše testno območje obsega mesti Nova Gorica in Šempeter pri Gorici, naselja Kromberk, Pristava, Rožna Dolina, Solkan, Šmaver in Vrtojba ter dele naselij Ajševica, Bilje, Orehovlje, Stara Gora in Volčja Draga.

Ožje testno območje je bilo predvideno za lasersko skeniranje. Obsega mesti Nova Gorica in Šempeter pri Gorici ter dele naselij Pristava, Solkan, Šmaver, Kromberk in Rožna Dolina.

Za testno območje harmonizacije smo pridobili naslednje prostorske podatke:
- digitalne ortofotonačrte v merilu 1 : 5000 (DOF),
- topografijo v merilu 1 : 5000 (TOPO 5),
- zemljiški kataster (DKN in zemljiškokatastrske točke),
- kataster stavb in
- podatke o državni meji (v koordinatnem sistemu ETRS89).

2 Izboljšava podatkov na slovenskem obmejnem območju

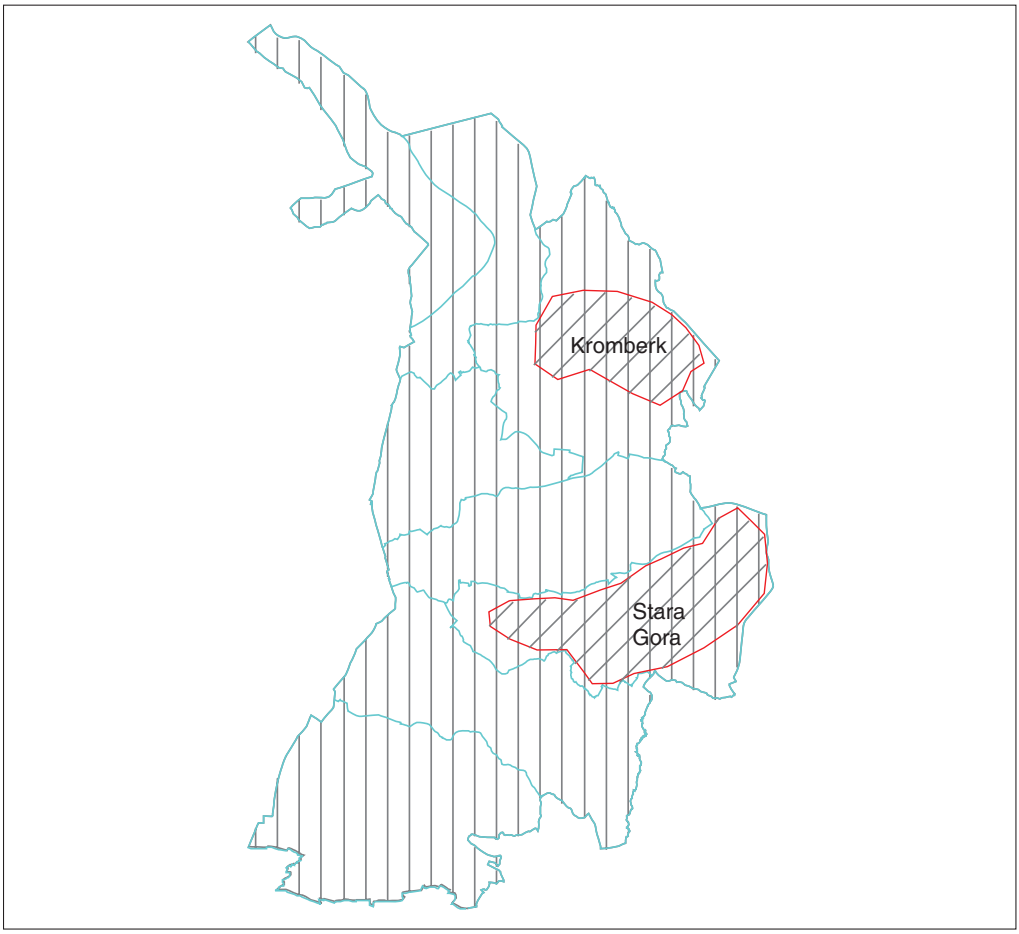
Na slovenski strani obravnavanega obmejnega območja smo izboljšali položajno natančnost podatkov zemljiškega katastra, odpravili vpliv nehomogene natančnosti državnega koordinatnega sistema in popravili (pravokotizirali) obode stavb. Preizkusili smo tudi tehnologijo laserskega zračnega skeniranja za izboljšavo in dopolnitev topografskih podatkov v urbanem okolju.

2.1 Izboljšava položajne natančnosti podatkov zemljiškega katastra

Izvedena je bila izboljšava položajne natančnosti zemljiškega katastra. Zelo pomembna faza izboljšanja podatkov zemljiškega katastra je ugotavljanje kakovosti obstoječega katastra. Za ostale uporabnike zemljiškega katastra (prostorsko planiranje, kmetijstvo) je pomembna predvsem položajna natančnost in vsebinska usklajenost digitalnih katastrskih načrtov. Pod oceno kakovosti razumemo predvsem stopnjo ujemanja digitalnih katastrskih načrtov (DKN, po novem zemljiškokatastrskih prikazov – ZKP) z državnim koordinatnim sistemom.

Za pretežni del Slovenije (89 %) je DKN nastal z vklopom digitaliziranih katastrskih načrtov v državni koordinatni sistem. Izjeme so območja koordinatnega katastra. Med območja koordinatnega katastra sodi večji del Prekmurja. Prav tako sodijo sem predvsem večja urbana središča, kjer je bila zaradi intenzivnosti rabe zemljišč izvedena nova izmera. Nova izmera pa je bila ponekod izvedena tudi zaradi komasacij.

Izboljšavo položajne natančnosti zemljiškega katastra lahko razumemo tudi kot harmonizacijo podatkov z državnim koordinatni sistemom. Položajno natančnost smo izboljšali na dveh izbranih območjih. Izbrali smo območji znotraj katastrskih občin Kromberk, 287 ha, in Stara gora, 483 ha (slika 2).



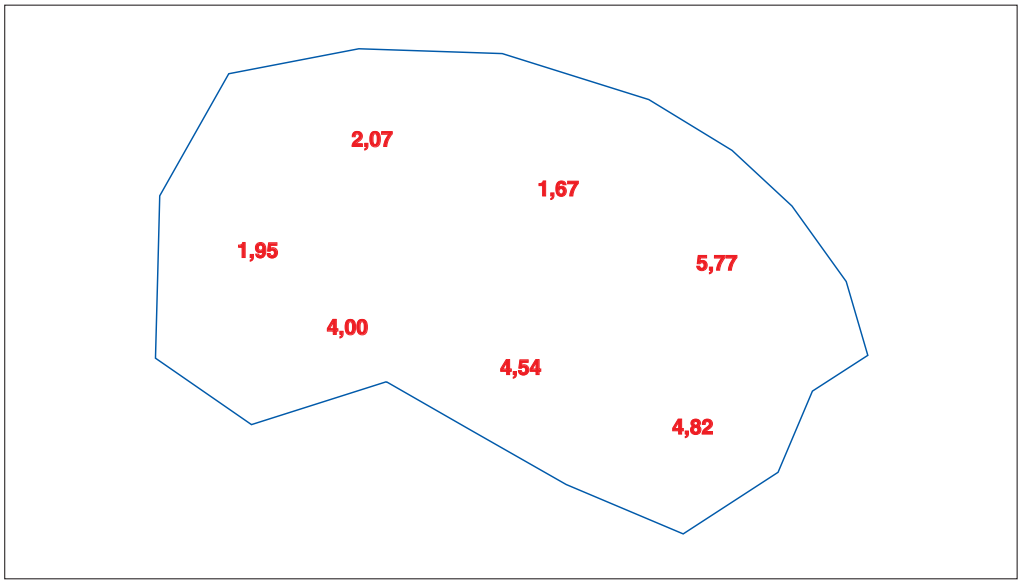
Slika 2: Območja položajne izboljšave zemljiškega katastra na širšem testnem območju.

Za izboljšavo položajne natančnosti zemljiškega katastra je bila uporabljena trikotniško zasnovana odsekoma afina transformacija. Trikotniško zasnovana odsekoma afina transformacija je transformacija, s katero vsebino transformiramo ločeno po trikotnih odsekih. Vse dane točke, ki jih uporabimo kot transformacijske točke, so oglišča takšnih trikotnih odsekov. Za vsak odsek uporabimo afino transformacijo, njene parametre pa določimo tako, da v celoti odpravimo odstopanja na danih točkah.

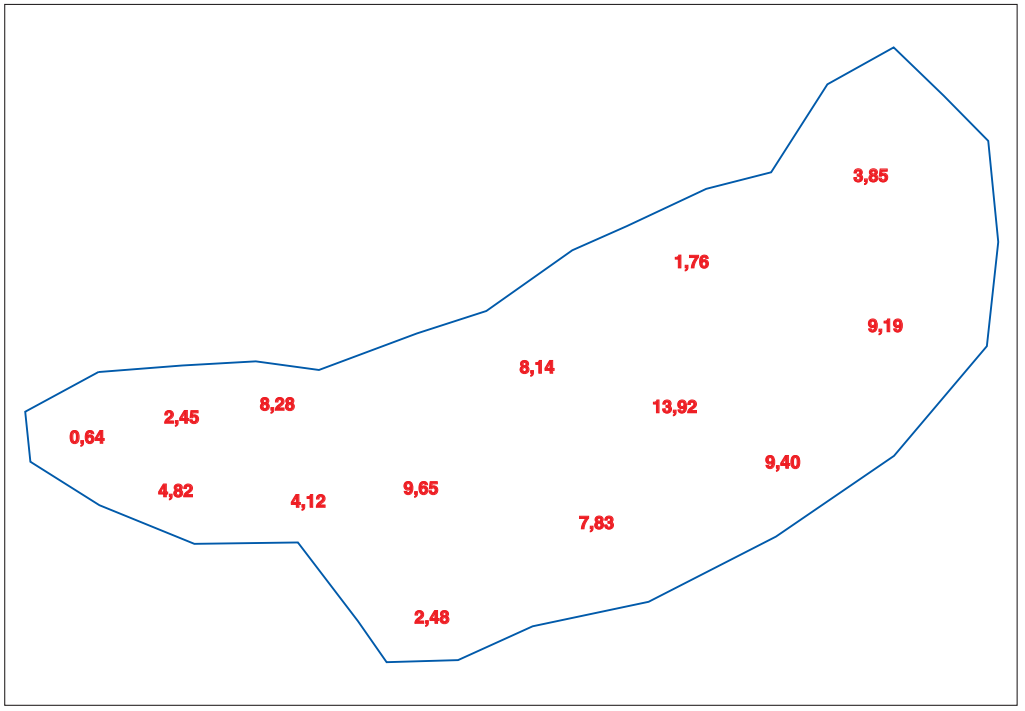
Lastnosti trikotniško zasnovane odsekoma afine transformacije so znotraj posameznih odsekov enake lastnostim same afine transformacije. Do odstopanj pa pride na spojih območij. Stroga izvedba transformacije bi zahtevala dodatni lom linije, ki prehaja iz enega trikotnika v drugega, običajno pa transformiramo le krajišča linij, povezave med njimi pa ostanejo ravne (Berk 2001; Korošec in Berk 2004; Berk in Duhovnik 2007).

Izboljšavo zemljiškega katastra smo izvedli na testnih območjih katastrskih občin (KO) Kromberk in Stara Gora.

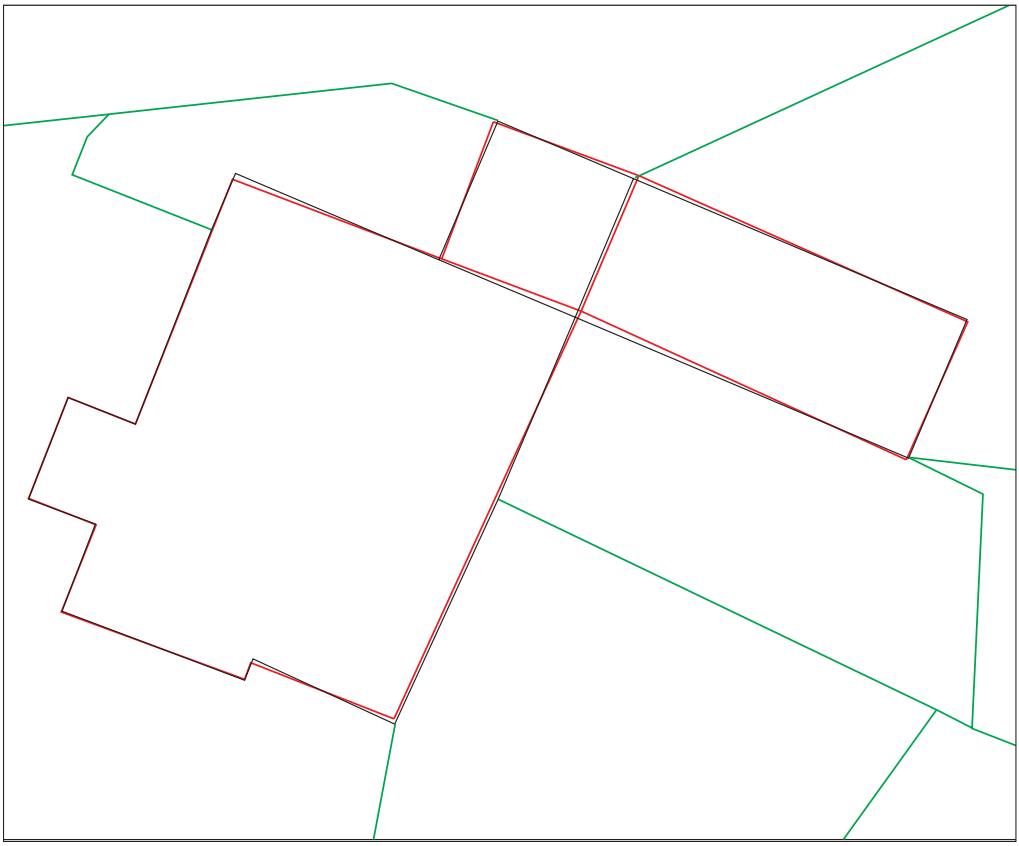
Na območju transformacije smo izbrali 4 točke, od tega 3 ZK točke ter 1 točko nedvoumno identificirano na obstoječem geodetskem načrtu. Kontrolne točke niso bile vključene v izračun transformacijskih parametrov. Na podlagi analize vektorjev odstopanj pred in po transformaciji smo ugotovili, da se je



Slika 3: Izboljšava položajne natančnosti DKN na območju KO Kromberk; označene so velikosti premikov v posameznih točkah (v metrih).



Slika 4: Izboljšava položajne natančnosti DKN na območju KO Stara Gora; označene so velikosti premikov v posameznih točkah (v metrih).



Slika 5: Rezultati pravokotizacije obodov stavb (označeno s črno barvo).

srednji standardni odklon položajev točk zmanjšal iz 3,25 m na 1.58 m. Na podlagi rezultatov analize kontrolnih točk in na podlagi vizualne kontrole lahko trdimo, da se je položajna natančnost DKN na območju transformacije bistveno izboljšala.

Na območju transformacije smo izbrali 10 točk, od tega 9 ZK točke ter 1 točko nedvoumno identificirano na DOF-u. Kontrolne točke niso bile vključene v izračun transformacijskih parametrov. Na podlagi analize vektorjev odstopanj pred in po transformaciji smo ugotovili, da se je srednji standardni odklon položajev točk zmanjšal iz 7,10 m na 4,63 m. Na podlagi rezultatov analize kontrolnih točk in na podlagi vizualne kontrole lahko trdimo, da se je položajna natančnost DKN na območju transformacije bistveno izboljšala.

Po izvedeni transformaciji (zaradi izboljšave položajne natančnosti), je sledila še druga faza: popravki obodov stavb oziroma pravokotizacija stavb. S popravki oboda stavb smo dosegli idealizacijo obodov stavb. Značilnosti metode pravokotizacije stavb so:

- minimalne spremembe položaja točk,
- minimalne spremembe obodov stavb,
- minimalne spremembe oblik (površin) stavb ter
- minimalne spremembe orientacije stavb.

Uporabljena je bila metoda najmanjših kvadratov – model pogojne izravnave (Berk 1998). Rezultati pravokotizacije so vidni na sliki 5.

Slika 6: Območje snemanja zračnega laserskega skeniranja Nove Gorice predstavljeno z digitalnimi ortofoti.

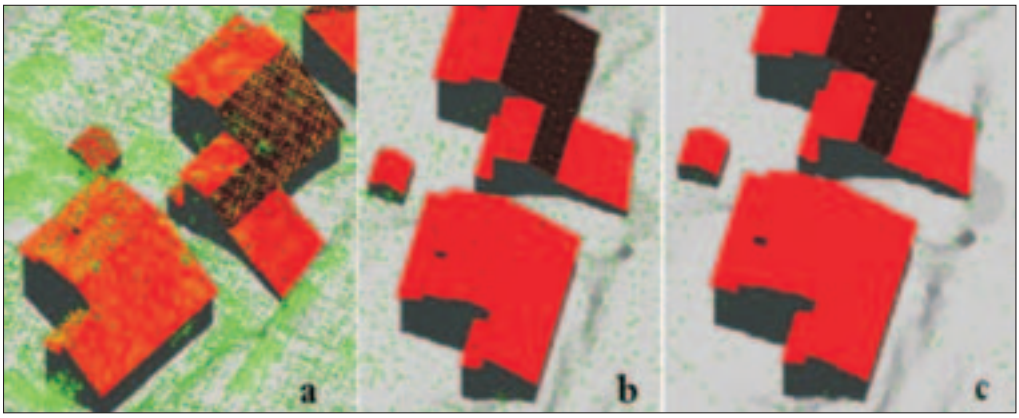
2.2 Izboljšava kakovosti topografskih podatkov z novo tehnologijo zajema

Zajem prostorskih podatkov fizičnega okolja v urbanih območjih je zaradi velike gostote objektov, predvsem stavb in prometnic, s klasičnimi metodami (fotogrametrija in terenski zajem) precej zamuden in tehnološko omejen. Dokaj nova tehnologija zračnega laserskega skeniranja (lidarja) ponuja komplementarne izboljšave v zajemu podatkov (hitrost in natančnost zajema, visoka podrobnost zajema idr.). V obravnavanem projektu smo na praktičnem primeru preizkušali potenciale te nove metode za uporabo na nivoju lokalnega prostorskega planiranja.

V okviru projekta HARMO-GEO smo naročili visoko ločljivo letalsko lasersko skeniranje Nove Gorice z 20 točkami/m^2, in sicer na višini 1000 m (Slika 6), ki je bilo izvedeno 6. junija 2006. Snemanje je opravil Inštitut za oceanografijo in geofiziko (OGS) iz Trsta skupaj s podjetjem Helica iz Amara v Italiji. Istočasno so bili z iste platforme (letalo ali helikopter) posneti tudi digitalni posnetki, ki so bili kasneje s pomočjo podatkov laserskega skeniranja transformirani v digitalne ortofote. Geodetski inštitut Slovenije je izvedel izmero kontrolnih točk na območju snemanja z namenom preveritve položaja oblaka laserskih točk v koordinatnem sistemu ETRS89. Italijanski partnerji so v okviru zrcalnega projekta opravili več laserskih skeniranj z različno gostoto točk na prostorsko enoto in opravili različne analize (Crosilla s sodelavci 2006; Crosilla s sodelavci 2005; Visintini s sodelavci 2007).

Oblak laserskih točk smo klasificirali na točke tal, nekaj razredov vegetacije, stavbe in napake. S samodejnim postopkom smo izdelali digitalni model celotnega območja.

Digitalni model terena smo uporabili za samodejno izdelavo plastnic z ekvidistanco 5 m, le-teh nismo gladili. Primerjali smo jih s plastnicami zajetimi s fotogrametričnim stereozajemom v okviru izdelave višinske predstave DTK 5 (merilo 1 : 5000). Največja horizontalna odstopanja smo pričakovano opazili v gozdnatem, hribovitem območju, kjer pri zajemu plastnic s fotogrametrično stereorestitucijo ne moremo zajeti terena na tleh, ampak samo vrhove krošenj. Da dobimo pravilno višino, moramo fotogrametrično izdelane plastnice spuščati za vnaprej izbrano višino dreves. Plastnice izdelane iz podatkov laserskega skeniranja so izdelane za teren pod gozdnim pokrovom, saj tega prikazuje digitalni model terena. Primerjali smo tudi plastnice na ravnem negoznatem območju. Srednja horizontalna odstopanja med testiranimi plastnicami na hribovitem gozdnatem in ravnem negozdnatem območju ne presegajo 2 m. V testu smo ugotovili, da samodejno izdelane plastnice, pridobljene iz podatkov laserskega skeniranja z gostoto 20 točk/m^2, izpolnjujejo vse pogoje za neposredno uporabo na merilih 1 : 5000 ali 1 : 10000. Samodejen postopek zmanjša vpliv posrednih napak fotogrametričnega operaterja (napake spuščanja višin v gozdnatih območjih) in tudi skrajša čas izdelave plastnic v primerjavi s fotogrametričnim zajemom plastnic.



Slika 7: Različna gostota točk laserskega skeniranja na ploskovno enoto; a) 20 točk/m^2, b) 10 točk/m^2, c) 1 točka/m^2.

Klasificiran oblak točk smo uporabil tudi za polsamodejno izdelavo modelov stavb v mestnem jedru. Z namenom preučitve prednosti zračnega laserskega skeniranja za različne topografske zajeme (merila 1 : 5000, 1 : 1000 ali celo 1 : 500) smo preučevali predvsem možnosti zajema detajla na različnih gostotah laserskih točk na ploskovno enoto (slika 7).

Izvorna gostota podatkov 20 točk/m^2 (slika 7a), nam omogoča zajem detajlov, kot so: nadstreški, dimniki, strešna okna, balkoni, napušči, zunanja stopnišča, zunanje enote klimatskih naprav. Takšne podrobnosti so lahko predstavljene na topografskih kartah meril 1 : 1000 ali celo 1 : 500. Če uporabimo lasersko skeniranje z gostoto 10 točk/m^2 (slika 7b), nam le-to omogoča zajem večine prej omenjenih podrobnosti, kar lahko prevedemo na izdelavo topografskih izdelkov v merilih 1 : 5000 in 1 : 1000. Veliko manjša gostota točk 1 točka/m^2 (slika 7c) pa ne omogoča zajema takih podrobnosti, temveč samo zajem osnovnih oblik stavb.

Poznavanje gostote točk na prostorsko enoto ni dovolj za poznavanje celotne natančnosti zajema detajlov. Poznati moramo tudi položajno in višinsko natančnost zajetih linij iz oblaka laserskih točk. Laserske točke so definirane na tleh z natančnostjo višine 5–20 cm in horizontalnem položaju 10–50 cm (Baltsavias 1999; Maas 2003). Natančnost zajetih linij pa je enaka ali slabša od natančnosti laserskih točk. Sama položajna natančnost laserskih točk je najbolj odvisna od višine leta ter napak kotov inercialnega navigacijskega sistema (INS) letala oz. helikopterja na katerem se nahaja laserski sistem, ki definira orientacijo letala v prostoru. Takoj, ko želimo zajemati detajle za topografske izdelke meril 1 : 1000 ali 1 : 500, se zahteve glede natančnosti horizontalnega položaja in višine zelo povečajo. Zato mora platforma z laserskim sestavom leteti na višini nekaj sto metrov, vendar nižji od 1000 m. Prav tako je smiselno uporabiti bolj natančne INS sisteme.

3 Harmonizacija prostorskih podatkov med državama

Ključna faza harmonizacije podatkovih zbirk na testnem območju med Slovenijo in Italijo je sprememba koordinatnega sistema. Na osnovi koordinat točk, izmerjenih v različnih koordinatnih sistemih, lahko vzpostavimo matematično povezavo med koordinatnima sistemoma. Na voljo imamo različne modele transformacij med koordinatnimi sistemi. Izbiro modela transformacije običajno narekujejo želene lastnosti transformacije oziroma vrednotenje želenih lastnosti koordinatnih sistemov.

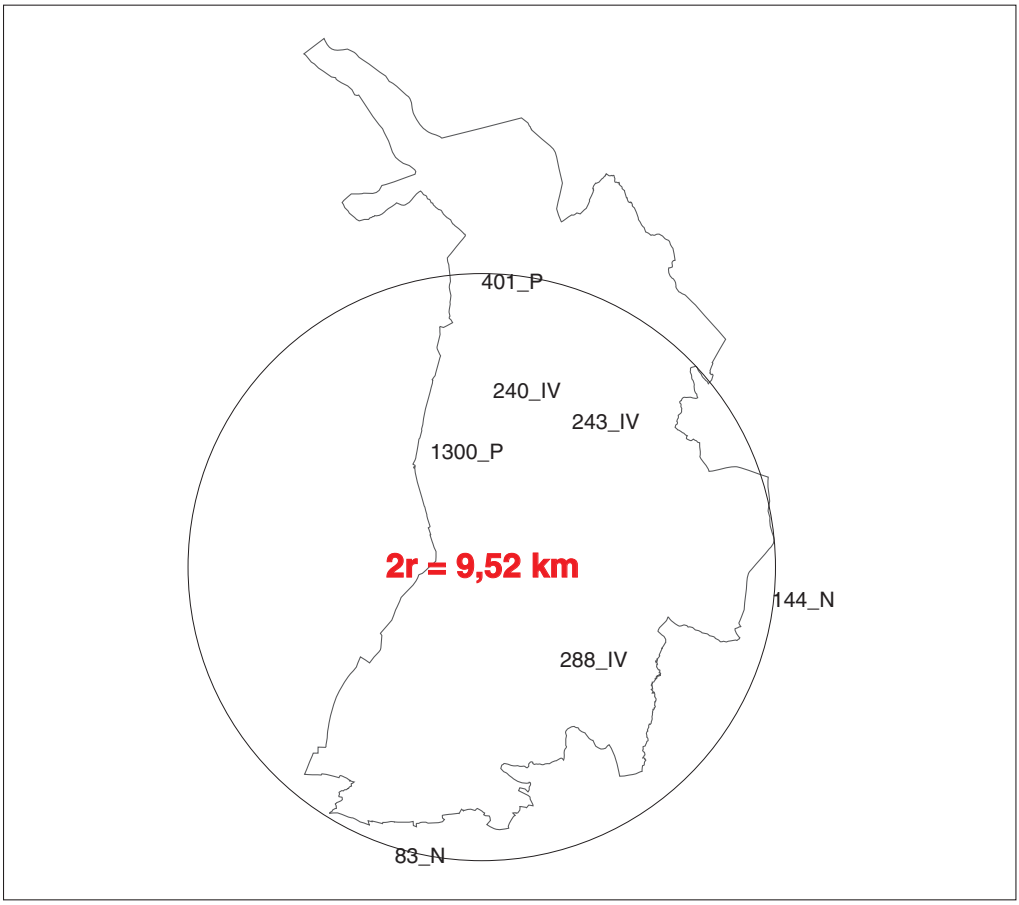
3.1 GPS kampanja in določitev veznih točk za transformacijo

Za potrebe harmonizacije prostorskih podatkov smo na slovenski in italijanski strani izvedli GPS-kampanjo za določitev koordinat točk v enotnem (skupnem) koordinatnem sistemu. GPS-kampanja je potekala ob pomoči OGU Nova Gorica. Kampanja je potekala istočasna kampanja v Italiji. S partnerji na projektu smo se dogovorili za uporabo skupnega koordinatnega sistema ETRS89/UTM. Meritve smo obdelali in določili koordinate veznih točk v skupnem koordinatnem sistemu.

Na testnem območju smo izbrali 10 točk s kakovostno določenimi koordinatami v sistemu D48/GK. Izbrane točke so bile uporabljene kot vezne oziroma kontrolne točke za izračun transformacijskih parametrov. Na izbranih točkah z danimi koordinatami v D48/GK smo z GPS metodo izmere določili še koordinate v ETRS89. Čas trajanja hitrih statičnih meritev je bil od 20 do 45 minut. Uporabili smo 2 permanentni GPS-postaji (Bilje-SI in Gorica-IT). Dosežena natančnost koordinat je bila 0,5 cm.

Izmed razpoložljivih točk s pari koordinat v obeh koordinatnih sistemih (slika 6), torej v državnem in skupnem evropskem koordinatnem sistemu, smo izbrali vezne točke za izračun transformacijskih parametrov (slika 7).

Transformacijske parametre smo izračunali s strogo metodo 7-parametrične podobnostne transformacije v 3R-prostoru in poenostavljeno metodo 4-parametrične podobnostne transformacije



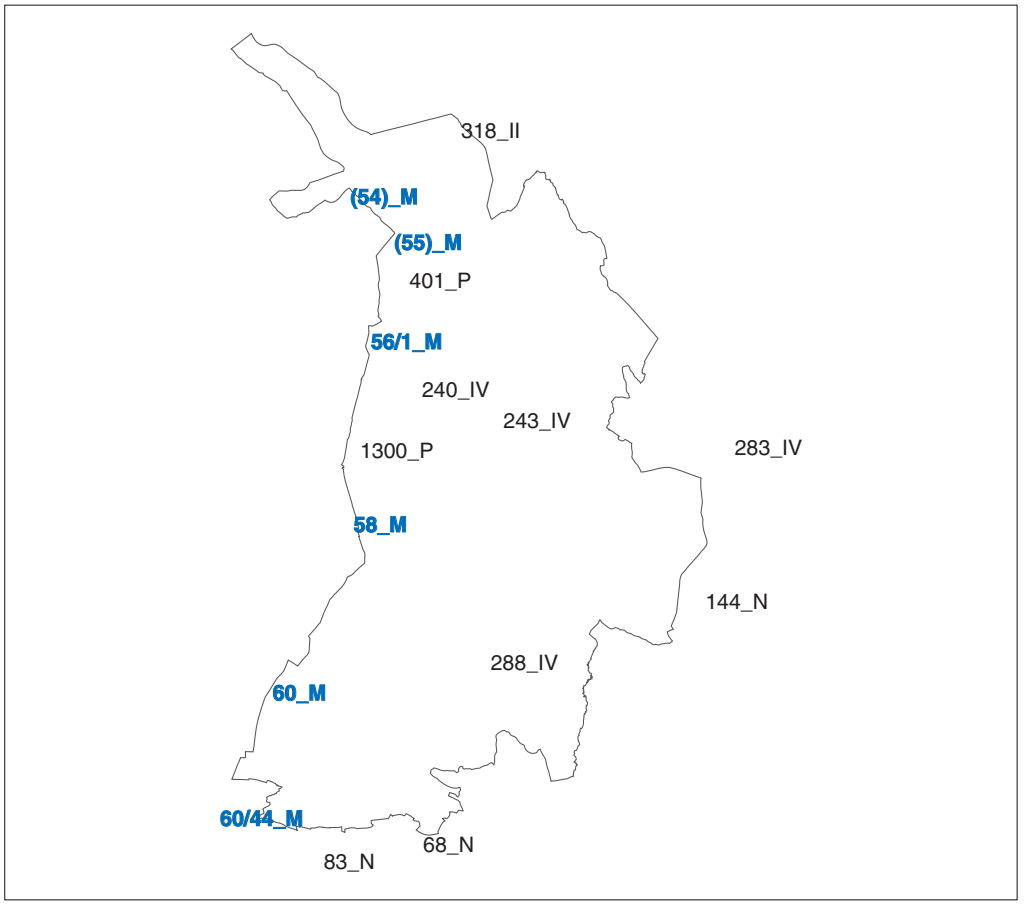
Slika 8: Izbrane vezne točke, uporabljene za izračun transformacijskih parametrov.

v ravnini. Izračunani optimalni transformacijski parametri omogočajo neposredno transformacijo iz starega slovenskega koordinatnega sistema D48/GK v izbrani skupni koordinatni sistem ETRS89/UTM. Optimalni transformacijski parametri so bili določeni z istih točk kot pri prostorski podobnostni transformaciji. Ugotovili smo, da za dano velikost testnega območja poenostavljena ravninska transformacija povsem zadošča; koordinatne razlike so minimalne (nekaj mm).

Končne vrednosti transformacijskih parametrov 4-parametrične transformacije so:

Preglednica 1: Transformacijski parametri 4-parametrične podobnostne transformacije za transformacijo iz koordinatnega sistema D48 v ETRS89/UTM.

parameter	vrednost	parameter	vrednost
faktor merila	0,9997172524	pomik v smeri Y-osi	–230,829
protiurna rotacija	359,9987473302	pomik v smeri X-osi	–1005,849 (+5.000.000,00)



Slika 9: Razpoložljive točke s pari koordinat v državnem in skupnem evropskem koordinatnem sistemu.

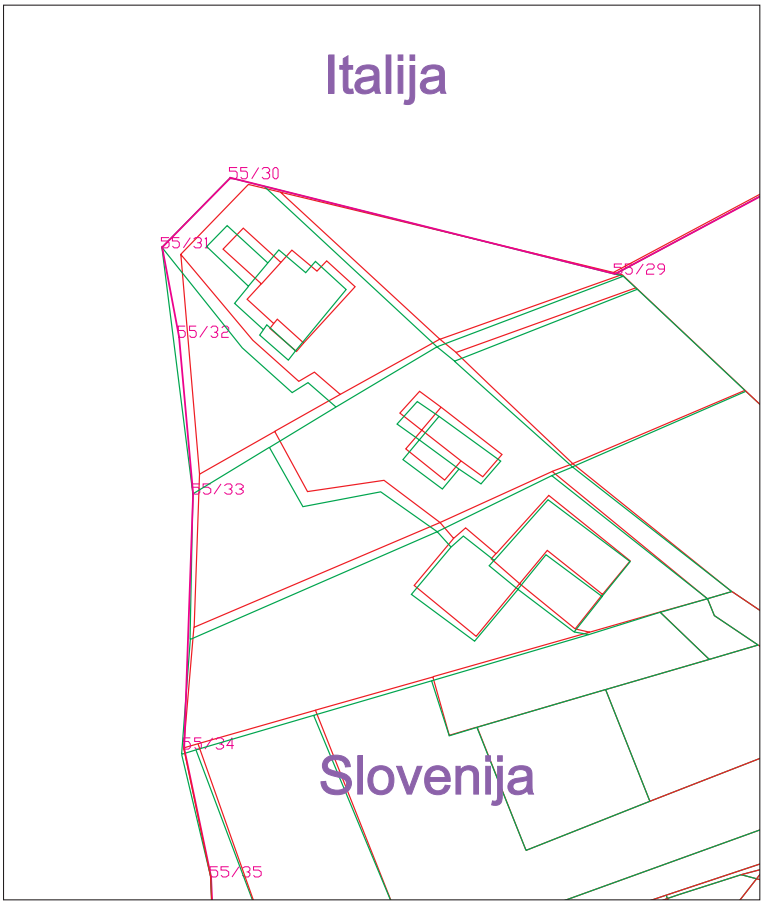
Za transformacijo v skupni koordinatni sistem smo preizkusili tudi trikotniško zasnovano odsekoma afino transformacijo. Ta transformacija še nekoliko poveča natančnost v ciljnem koordinatnem sistemu, saj omogoča hkratno eliminacijo nehomogene natančnosti starega koordinatnega sistema. V našem primeru so bile koordinatne razlike ob uporabi trikotniške in podobnostne transformacije do okoli 10 cm.

3.2 Uskladitev podatkov zemljiškega katastra na državni meji

Slovenski in italijanski obmejni zemljiški kataster smo izboljšali in transformirali vsak po svoji metodologiji in izvedli primerjavo ob slovensko-italijanski državni meji. Državna meja je bila določena predhodno v evropskem koordinatnem sistemu ETRS89. Usklajevanje je bilo izvedeno na dva načina:

- ročno, če so bila odstopanja od mejne črte manjša od 1 m,
- s trikotniško zasnovano odsekoma afino transformacijo (slika 10).

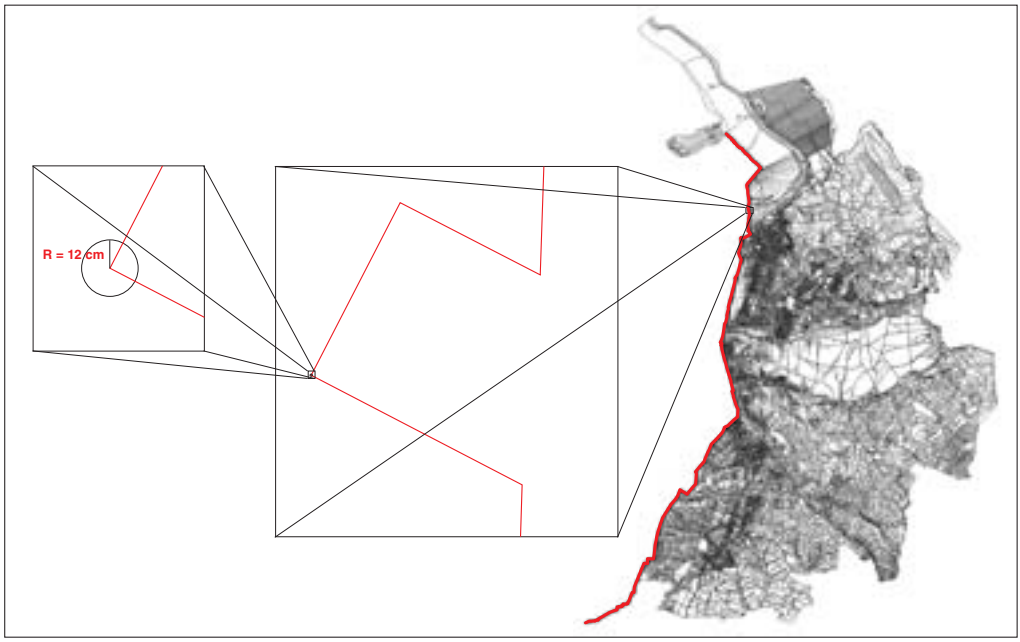
Odstopanja med obema slojema ob meji so bila na večjem delu mejne črte do 20 cm, na nekaj odsekih pa tudi nekoliko večja. Na enem območju se pojavlja tudi območje, ki ni vključeno v evidenco zemljiškega katastra (nekaj parcel).



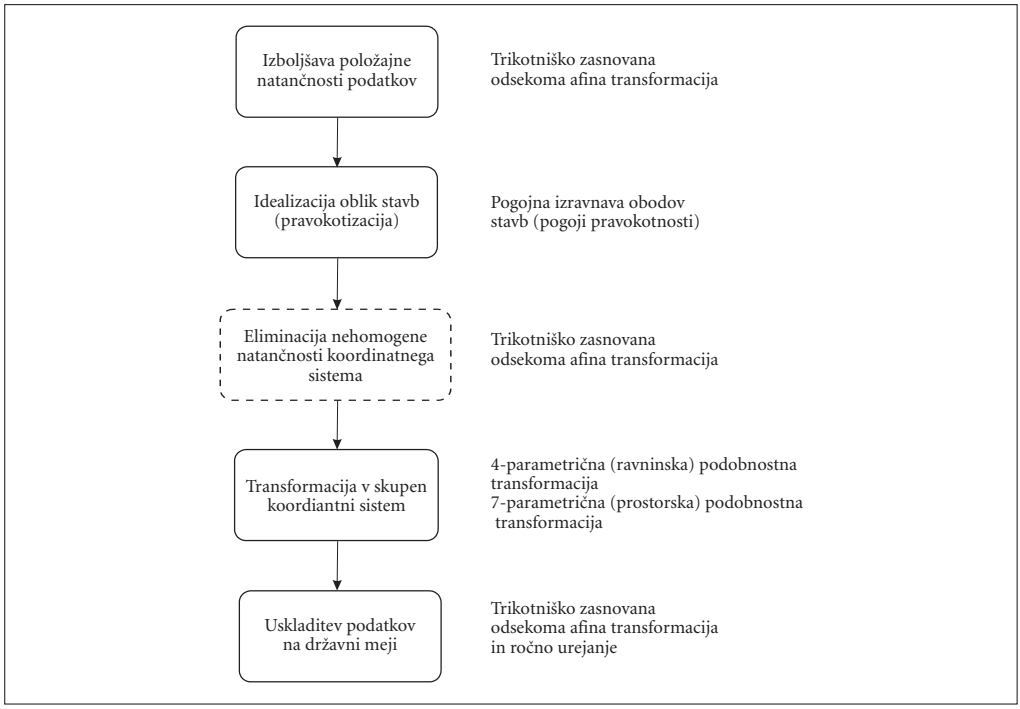
Slika 10: Uskladitev na državni meji s trikotniško transformacijo.

4 Sklep

V članku je predstavljena metodologija, s katero je možno posodobiti in harmonizirati geodetske podlage za potrebe čezmejnega prostorskega načrtovanja. Metodologija je bila pripravljena na podlagi izkušenj na testnem obmejnem območju dvomestja Gorica–Nova Gorica. Obstoječe prostorske podlage smo izboljšali in transformirali v skupen koordinatni sistem. Odločili smo se za koordinatni sistem ETRS89/UTM. Poleg transformacije podatkov z obeh strani meje v skupni koordinatni sistem, smo podatke (zemljiški kataster) tudi položajno izboljšali. Za izboljšavo položajne natančnosti smo na slovenski in italijanski strani razvili vsak svoje postopke, saj gre za precej različne načine obnavljanja in shranjevanja teh podatkov ter za vsebinske razlike. Preučili smo prednosti zračnega laserskega skeniranja za različne topografske nivoje (merila 1 : 5000, 1 : 1000, 1 : 500) in možnosti zajema detajla na različnih gostotah laserskih točk na ploskovno enoto. Ugotovili smo, da je tehnologija zračnega laserskega skeniranja primerna metoda za posodabljanje prostorskih podatkov za potrebe različnih prej omenjenih topografskih prikazov. Zelo pomembne so izkušnje, ki smo jih pridobili skozi sodelovanje partnerjev na projektu. Z italijanskimi kolegi smo si izmenjali informacije o vrstah podatkov, ki so za potrebe



Slika 11: Prileganje slovenskega zemljiškega katastra ob državni meji.



Slika 12: Shema harmonizacije geodetskih podlag za potrebe čezmejnega prostorskega načrtovanja.

prostorskega načrtovanja na voljo. Rezultati harmonizacije prostorskih podatkov, pridobljeni po opisani metodologiji, in njihovo položajno ujemanje na državni meji so za potrebe čezmejnega prostorskega načrtovanja dovolj kakovostni.

5 Viri in literatura

Baltsavias, E. P. 1999: Airborne laser scanning: basic relations and formulas. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54.

Berk, S., Duhovnik, M. 2007: Transformacija podatkov Geodetske uprave Republike Slovenije v novi državni koordinatni sistem. Geodetski vestnik 51-4. Ljubljana.

Berk, S. 1998: Pravokotizacija vektorsko zajetih stavb in njihova a posteriori ocena natančnosti. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1997–1998. Ljubljana.

Berk, S. 2001: Možnosti transformacije katastrskih načrtov grafične izmere v državni koordinatni sistem. Geodetski vestnik 45, 1-2. Ljubljana.

Crosilla, F., Visintini, D., Sepic, F. 2006: Laser scanning survey of the Aquileia basilica (Italy) and automatic modeling of the volumetric primitives. Dresden.

Crosilla, F., Beinat, A., Visintini, D., Fico, B., Sossai, E. 2005: Likelihood and Accuracy Analysis of 3D Building Models from Airborne Laser Data. Padova.

Korošec, M., Berk, S. 2004: Digitalni katastrski načrti in njihova izboljšava. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2003–2004. Ljubljana.

Maas, H.-G. 2003: Planimetric and height accuracy of airborne laserscanner data: User requirements and system performance. Photogrammetric Week, Proceedings 49, Wichmann Verlag.

Visintini, D., Spangher, A., Fico, B. 2007: The VRML model of Victoria Square in Gorizia (Italy) from laser scanning and photogrammetric 3D surveys. Perugia.

INFORMACIJSKA TEHNOLOGIJA IZVEDBE JAVNEGA VPOGLEDA V EVIDENCO TRGA NEPREMIČNIN

Aleš Perovšek
Geodetska uprava Republike Slovenije
ales.perovsek@gov.si

Miloš Pegan
IGEA d. o. o.
milos.pegan@igea.si

UDK: 332.21:659.2:004(497.4)
COBISS: 1.17

IZVLEČEK
Informacijska tehnologija izvedbe javnega vpogleda v Evidenco trga nepremičnin
Evidenca trga nepremičnin je večnamenska zbirka podatkov o kupoprodajnih in najemnih pravnih poslih z nepremičninami, ki jo vodi in vzdržuje Geodetska uprava Republike Slovenije. Podatki, ki se v evidenci zbirajo, so v omejenem naboru dostopni tudi širši javnosti preko spletnega grafičnega pregledovalnika, ki je zasnovan na odprtih standardih in novi prostorski infrastrukturi, ki temelji na posredovanju podatkov preko spletnih storitev.

KLJUČNE BESEDE
evidenca trga nepremičnin, javna uprava, nepremičninske agencije, cene nepremičnin, trg nepremičnin, najemnine, Geodetska uprava RS, Davčna uprava RS, informacijski sistem, distribucijski sistem Geodetske uprave Republike Slovenije, spletni servis, Web Feature Service, Web Map Service, Geoserver, Mapbuilder, XML, prostorski podatki, statistika.

ABSTRACT
Information technology of public access to the register of real estate transactions
Register of real estate contains rents and prices in the Slovenian real estate market and is provided by the Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia. A limited set of collected data is available for public use through an internet application that is based on open standards and new spatial infrastructure that serves data through web services.

KEY WORDS
register of real estate, public administration, real estate agency, real estate prices, real estate market, rent, Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia, Tax Administration of the Republic of Slovenia, information system, distribution system, web service, Web Feature Service, Web Map Service, Geoserver, Mapbuilder, XML, spatial data, statistics.

1 Uvod

V okviru razvoja prostorske infrastrukture na Geodetski upravi Republike Slovenije je bila izvedena raziskava zagotavljanja podatkov preko spletnih storitev. Vzpostavljeno je bilo sistemsko okolje, ki preko spletnih storitev posreduje opisne in grafične podatke, ki jih zbira in vzdržuje Geodetska uprava. S tehnološkega vidika je bil namen vzpostavitve javnega vpogleda v evidenco trga nepremičnin v praksi uporabiti prostorsko infrastrukturo in zagotoviti nemoteno delovanje sistema dostopnega javnosti.

2 Evidenca trga nepremičnin

Evidenca trga nepremičnin (ETN) je večnamenska zbirka podatkov o kupoprodajnih in najemnih pravnih poslih z nepremičninami, ki jo vodi in vzdržuje Geodetska uprava Republike Slovenije.

Pravni podlagi za evidenco sta Zakon o množičnem vrednotenju nepremičnin (UL RS 50/2006) in Pravilnik o vodenju in vzdrževanju evidence trga nepremičnin ter načinu in rokih pošiljanja (UL RS 134/2006).

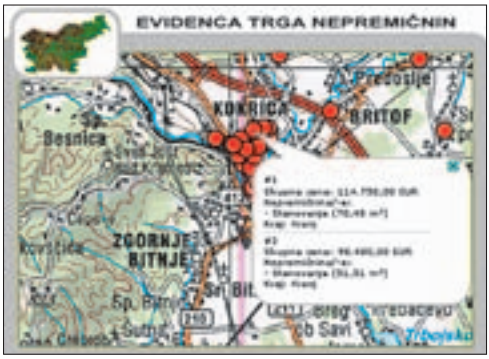
Podatke o sklenjenih pravnih poslih z nepremičninami so v evidenco dolžni posredovati Davčna uprava Republike Slovenije iz evidence napovedi za odmero davka na promet nepremičnin, notarji iz kupoprodajnih in najemnih pravnih poslov z nepremičninami, na podlagi katerih je bila sestavljena javna listina, nepremičninske družbe iz kupoprodajnih in najemnih pravnih poslov, ki so podlaga za vodenje evidence o posredovanju v prometu z nepremičninami ter občine in upravne enote iz najemnih pogodb, evidentiranih v registru najemnih pogodb ali drugi uradni evidenci. Podatki se v ETN evidentirajo tako kot so jih posredovali zakonsko predpisani posredovalci, ki so tudi odgovorni za popolnost in kakovost pošiljanja podatkov. Podatki se posredujejo izključno v elektronski obliki, v predpisanem izmenjevalnem formatu oziroma z neposrednim vnosom podatkov preko spletne aplikacije ETN, ki je bila posebej razvita za ta namen.

ETN je ažurna evidenca, saj so posredovalci dolžni pošiljati podatke o sklenjenih pravnih poslih z nepremičninami do 15. dne v tekočem mesecu za pretekli mesec.

2.1 Vpogled v podatke evidence trga nepremičnin

ETN je javna zbirka podatkov. Vpogled v dejansko realizirane cene in najemnine nepremičnin je omogočen na dveh ravneh, za registrirane in neregistrirane uporabnike.

Vpogled v ETN za registrirane uporabnike je namenjen strokovni javnosti in organom javne uprave. Organiziran je v okviru spletne storitve »računalniški dostop do geodetskih podatkov (PREG)«, na spletnem naslovu: **http://prostor.gov.si** oziroma **http://prostor.sigov.si**. Registrirajo se lahko pravne osebe javnega in zasebnega prava ter samostojni podjetniki.



Slika 1: Javni vpogled v podatke o prodanem stanovanju v Kranju.

Vpogled v ETN za registrirane uporabnike omogoča iskanje sklenjenih poslov ter pregledovanje in izvoz vseh posredovanih podatkov o sklenjenih kupoprodajnih in najemnih pravih poslih (razen osebnih podatkov pogodbenih strank).

Neregistrirani uporabniki imajo omogočen brezplačen vpogled v ETN in periodična poročila o slovenskem trgu nepremičnin, ki jih pripravlja geodetska uprava, preko javnega vpogleda na spletu (**http://prostor.gov.si/jv_etn**). Iskanje sklenjenih pravnih poslov poteka preko grafičnega pregleda. Za najdene sklenjene posle po preteklih periodičnih obdobjih in vrstah nepremičnin se prikazujejo osnovni podatki (vrste nepremičnin, ki jih je posel vključeval, skupna pogodbena cena posla ter površine in leto izgradnje nepremičnine).

3 Opis informacijske rešitve sistema ETN

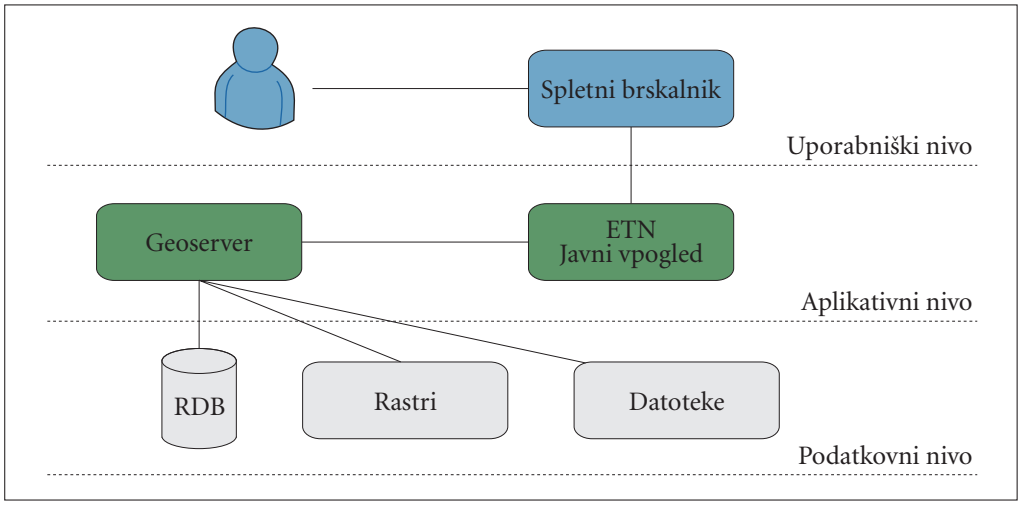
V osnovi je sistem razdeljen na dva medsebojno povezujoča dela, proizvajalni in porazdeljevalni del. Povezujoč mehanizem je replikacija na ravni podatkovne baze. Proizvajalni del je namenjen polnjenju in vzdrževanju podatkov, porazdeljevalni pa različnim pogledom na podatke, statistikam, obdelavam ter izvozom.

Na izvedbeni ravni so uporabljene javanske tehnologije: Oracle Application Server, JSP spletna aplikacija. Podatkovno raven predstavlja baza RDBMS Oracle, ki tudi izvaja replikacijski mehanizem. Na strani odjemalca je potreben le spletni brskalnik s podporo jeziku JavaScript.

Sistem za javni vpogled v ETN je postavljen ločeno od dela sistema, ki podatke zbira in shranjuje. Povezuje se na porazdeljevalni del podatkov in temelji na grafičnem pregledovanju podatkov.

Uporabniški vmesnik je zasnovan kot grafični pregledovalnik podatkov, kjer uporabnik interaktivno izbira območje, ki ga zanima. Na večjem območju se podatki prikazujejo v obliki statistik, ko pa uporabnik izbere dovolj majhno območje, se prikažejo lokacije izvedenih pravnih poslov. S klikom na posamezni posel se izpišejo opisni podatki, ki vključujejo ceno, površino in namembnost nepremičnin, ki so predmet posla.

Sistem javnega vpogleda je zasnovan na večnivojski arhitekturi značilni za spletne aplikacije in temelji na uporabi uveljavljenih spletnih storitev. Uporablja grafične podlage, ki so preko grafičnih spletnih storitev na voljo v novi prostorki infrastrukturi Geodetske uprave RS. To pomeni, da sam sistem ETN



Slika 2: Arhitektura sistema ETN Javni vpogled.

nikoli ne dostopa do vira grafičnih podatkov (RDBMS Oracle in rastri v TIFF formatu), ampak zahtevke po veljavnih postopkih pošilja na aplikativni vmesnik, ki služi širši uporabi grafičnih podatkov.

3.1 Podatkovna raven

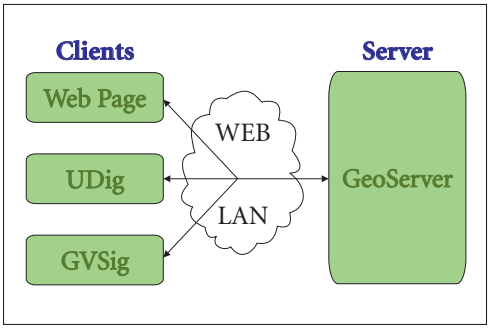
Podatki sistema ETN se shranjujejo v Oracle podatkovni bazi, kjer se vsakemu pravnemu poslu določi geolokacija na podlagi geolociranja položajnih podatkov nepremičnin, ki so predmet posla. Geolokacija se hrani v Oracle Spatial formatu. Na ta način je vzpostavljen osnovni grafični sloj sistema ETN, ki pravne posle v prostoru shranjuje kot centroide.

Za pregledovanje širšega območja v prostoru sta vključena pregledna sloja PK250 in DTK50, ki sta rastrska sloja v TIFF formatu in služita orientaciji v prostoru med merili 1 : 40.000 in 1 : 150.000.

Najvišji nivo pregledovanja prikazujeta dva generirana statistična sloja, ki prikazujeta število pravnih poslov po analitičnih območjih ter posameznih občinah. Ta dva sloja sta izvedena v Spatial formatu na Oracle podatkovni bazi.

3.2 Izvedbena raven – Geoserver

Vir grafičnih podatkov za sistem javnega vpogleda v ETN je Geoserver, ki preko uveljavljenih grafičnih spletnih storitev objavlja različne grafične sloje. Gre za odprtokodni vmesnik, ki omogoča prikaz prostorskih podatkov v spletnem okolju, omogoča objavljanje in urejanje prostorskih podatkov z uporabo odprtih standardov in podpira odprte postopke WFS-T in WMS (Open GIS Consortium) ter omogoča ustvarjanje in prenos slik v formatih JPEG, PNG, SVG, KML/KMZ, GML, PDF, Shapefiles.



Slika 3: Uporaba Geoserverja.

3.3 Uporabniški nivo

Uporabniški vmesnik je spletna aplikacija, katere glavni del je grafični pregledovalnik. Vmesnik je napisan v tehnologijah, ki jih poznajo vsi spletni brskalniki brez dodatnih razširitev (HTML, JavaScript, CSS, XML, XSD). Osnova za grafični pregledovalnik je odprtokodna rešitev z imenom Mapbuilder, ki nudi knjižnice za enostavno izvajanje zahtevkov preko OGC spletnih storitev in grafični prikaz rezultata, ki ga te vračajo. Za samo izvajanje zahtev po podatkih Mapbuilder ne potrebuje strežniških tehnologij kot je Java, so pa potrebne za inicialno vzpostavitev aplikacije ter za zagotovitev ustreznega nivoja varnosti.

4 Sklep

Izbira novega načina posredovanja prostorskih podatkov se je izkazala za pravilno. Temelji na tehnologiji spletnih storitev, odprtih standardih in zagotavlja nemoteno delovanje tudi ob večjih obremenitvah.

Z ustrezno ravnjo varnosti in nadzora nad delovanjem lahko z uveljavljenimi metodami podpremo vedno večje povpraševanje po podatkih.

5 Viri in literatura

Zakon o množičnem vrednotenju nepremičnin. UL RS 50/2006. Ljubljana.
Pravilnik o vodenju in vzdrževanju evidence trga nepremičnin ter načinu in rokih pošiljanja podatkov. UL RS št. 134/2006. Ljubljana.
Spletna stran Geodetske uprave Republike Slovenije http://www/gu.gov.si
Prostorski portal http://prostor.gov.si/
Spletna stran Geoserver http://geoserver.org/
Spletna stran Open Geospatial Consortium http://www.opengeospatial.org/

STANJE IN PERSPEKTIVE UPORABE GPS PRI PROJEKTIRANJU GOZDNIH PROMETNIC V SLOVENIJI

mag. Robert Robek, Jaka Klun
Gozdarski inštitut Slovenije
robert.robek@gozdis.si, jaka.klun@ gozdis.si

*UDK: 528.738:629.783:630*38(497.4)*
COBISS: 1.17

IZVLEČEK
Stanje in perspektive uporabe GPS pri projektiranju gozdnih prometnic v Sloveniji
V prispevku so predstavljene tehnologije GPS, primerne za gozdarsko inženirstvo ter primera rabe DGPS pri projektiranju gozdne ceste in pri trasiranju linije žičnega žerjava v Sloveniji. Obravnavana je natančnost meritev DGPS v gozdu ter ovire, ki zavirajo širšo uporabo tehnologije GPS v gozdarstvu. Z večjo dostopnostjo naprednih orodij GIS, povečanjem števila satelitov v GNSS ter preseganjem nakazanih ovir je pričakovati rutinsko uporabo rabo GPS v gozdnem inženirstvu v roku 5 do 7 let.

KLJUČNE BESEDE
GPS, DGPS, gozdna cesta, gozdna žičnica, inženirstvo, projektiranje

ABSTRACT
State and prospects of GPS utilisation for forest infrastructure design in Slovenia
In the paper GPS technologies suitable for forestry engineering are described and two examples of DGPS implementation for forest road design and mobile tower yarder corridor layout are presented. The accuracy of the DGPS measurement in forest is evaluated and discussed within the barriers that impede wider use of GPS in forestry. Improved availability of the advanced GIS tools, increased number of satellites in GNSS and exceeded barriers may lead to routine use of GPS in forest engineering within next 5 to 7 years.

KEY WORDS
GPS, DGPS, forest road, forest cableway, engineering, design

1 Uvod

Gozdovi prekrivajo danes skoraj 60 % Slovenije, njihova površina in pomen zadnjih 50 let naraščata (Krajnc s sodelavci 2002). Z gozdovi gospodari prek 350.000 zasebnih lastnikov, lokalne skupnosti in Republika Slovenija, njihovo večnamensko in trajnostno rabo gozdov pa usmerja gozdarska stroka. Začetki strokovnega dela z gozdovi pri nas so dokumentirani v urbarjih in rudniških redih iz 15. stoletja (Korošec 1993). Danes so za vse gozdove pri nas izdelani gozdnogospodarski načrti, ki so obvezna strokovna podlaga izvedbenim prostorskim načrtom občin. Številni gozdni predeli pri nas se ponašajo z več kot pol stoletno tradicijo neprekinjenega načrtovanja.

Gozdarstvo je ves čas svojega strokovnega delovanja uporabljalo tehnike geodezije, kartografije in daljinskega zaznavanja. Pojav GPS (*Global Positioning System*) v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja ni pomenil tehnološke revolucije samo v geodeziji, ampak je odprl nove poti za strokovno delo tudi v gozdarstvu. Dobrih 30 let po prvih poskusih uporabe tehnologije GPS v gozdarstvu bi pričakovali njeno vsesplošno rabo, vendar temu ni tako. Za razliko od razvitih držav (medmrežje 1), na tem področju izrazito zaostajamo (Robek s sodelavci 2006).

V prispevku je ocenjen obseg uporabe GPS v slovenskem gozdarstvu, prikazana raba GPS pri odpiranju in izkoriščanju gozdov v Sloveniji, analizirana natančnost meritev GPS v gozdnem prostoru ter nakazana smer uporabe tehnologije GPS v gozdarskem inženirstvu pri nas.

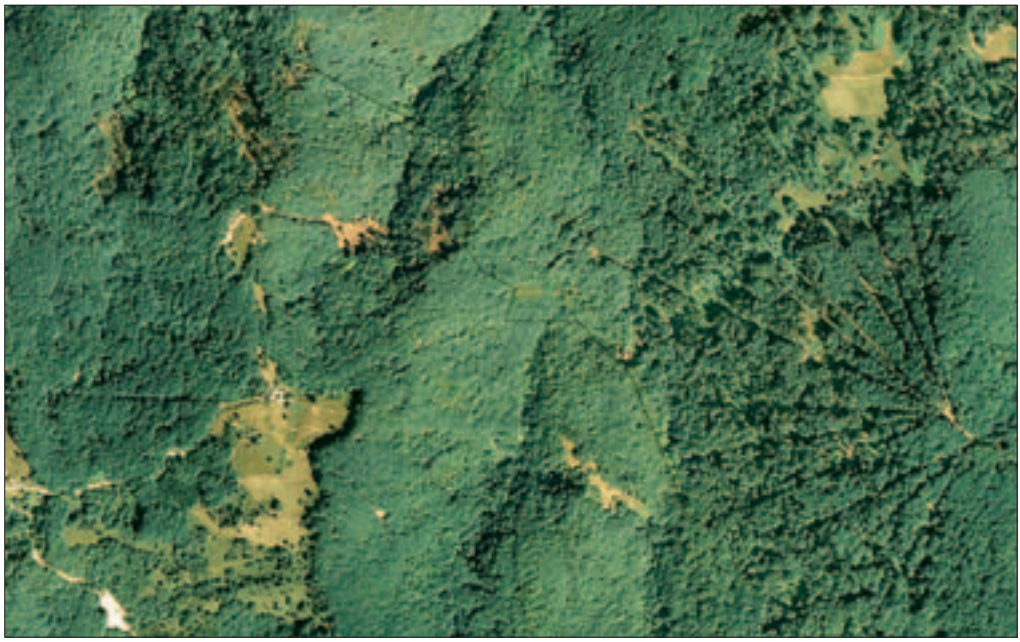
2 Stanje tehnologij GPS v slovenskem gozdarstvu

Kadar v gozdarstvu govorimo o GPS, imamo v mislih samo uporabniški segment GPS tehnologije (Kobler 1997). Uporabniške GPS naprave (v nadaljevanju GPS naprave) se po funkcionalnosti, natančnosti in ceni med seboj zelo razlikujejo, njihov skupni namen pa je določitev položaja terenskih točk, linij in ploskev z znano natančnostjo.

Za ta prispevek smo naprave GPS, ki jih srečujemo pri delu v gozdarstvu, razdelili v tri skupine:

- **Orientacijski GPS:** ima integrirano anteno, 12 kanalni enofrekvenčni sprejemnik in prikazovalnik v eni vodoodporni napravi. Cenovni rang orientacijske GPS naprave je 300–500 EUR, deklarirana situacijska natančnost znaša do 3m. Za prikaz nadmorskih višin uporablja integriran barometrični višinomer. Značilni predstavnik je GARMIN 60CSx in v osnovi ni namenjen za kartiranje v okolju GIS. Ocenjujemo, da je bilo pri gospodarjenju z gozdovi v letu 2007 uporabljenih 70–100 orientacijskih GPS naprav.
- **GIS/GPS:** ima samostojno anteno, 12 kanalni enofrekvenčni kodni in fazni sprejemnik, vodoodporni zajemalec podatkov in možnost povezovanja z mrežo baznih postaj v realnem času. Cenovni rang GIS/GPS naprave je 4000–8000 EUR s programsko opremo za naknadno obdelavo podatkov. Deklarirana situacijska natančnost znaša do 0,4 m, deklarirana višinska natančnost pa do 1,0 m. Značilni predstavnik je TRIMBLE Geoexplorer 2 in je namenjen za GIS kartiranja do merila 1 : 5.000. Ocenjujemo, da je bilo pri gospodarjenju z gozdovi v letu 2007 uporabljenih 3–5 GIS/GPS naprav.
- **Geodetski GPS:** ima samostojno anteno, 12 kanalni dvofrekvenčni sprejemnik, vodoodporni zajemalec podatkov, integrirano povezavo z mrežo baznih postaj ter možnost povezave z elektronskim tahimetrom v realnem času. Cenovni rang geodetskega GPS je od 20.000 EUR brez programske opreme za naknadno obdelavo podatkov. Deklarirana situacijska natančnost znaša do 0,03 m, deklarirana višinska natančnost pa do 0,1 m. Značilni predstavnik je LEICA GPS900CS. Ocenjujemo, da je bil pri gospodarjenju z gozdovi v letu 2007 uporabljen geodetski GPS skupno do 50 ur.

Z napravami GPS pridobivamo podatke, ki jih lahko v istem trenutku uporabimo za orientacijo, navigacijo ali meritve, lahko pa jih prenesemo v GIS ali CAD programe s katerimi izdelamo zemljevide, tehnične risbe ali analitične izračune. Programska oprema in GPS naprave predstavljajo funkcionalno celoto GPS orodij v širšem smislu, s katerimi v polni meri izkoristimo prednosti GPS tehnologije.



Slika 1: Omrežje gozdnih cest (levo) in koridorjev gozdarskih žičnic (desno) v gozdnati krajini (Izsek DOF 5, list C2434, Geodetska uprava Republike Slovenije).

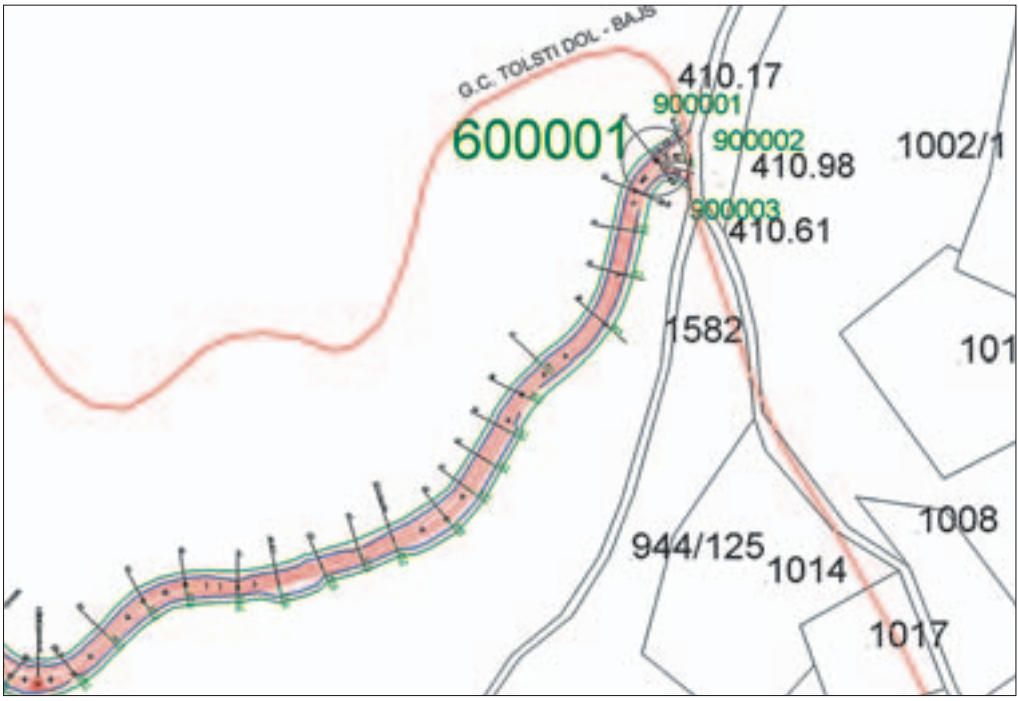
Opisane skupine GPS naprav niso splošno uveljavljene pri strokovnem delu v gozdarstvu v Sloveniji. Omejene so predvsem na občasno rabo pri orientaciji ob opisovanju sestojev za obnove gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtov (Kopše in Hočevar 2001) ter za gozdarsko inženirstvo (Colarič 2007). Prav slednje se zaradi relativne podobnosti z gradbeništvom, spogleduje z GPS tehnologijo bolj ali manj zavzeto že 15 let.

Naloga gozdarskega inženirstva je trajno zagotovljanje varnega in racionalnega izkoriščanja lesa, za kar potrebujemo mrežo grajenih in negrajenih prometnic ter terenu prilagojene tehnologije transporta lesa. Med grajene prometnice sodijo gozdne ceste in grajene vlake, med inženirsko zahtevnejše tehnologije transporta lesa pa se uvrščajo gozdarske žičnice. Poleg graditve in vzdrževanja gozdnih prometnic ter žičničarstva sodi v gozdarsko inženirstvo še urejanje hudourniških območij, ponekod pa tudi stavbarstvo. Vsi našteti posegi so večplastni in dolgoročno posegajo v gozdnato krajino (slika 1).

Pri gozdarskem inženirstvu se srečujemo z vsemi skupinami GPS naprav. Način uporabe in stopnja izkoriščanja GPS podatkov pri graditvi gozdnih prometnic se razlikuje od tistega pri trasiranju žičnic. Na področju grajenih prometnic je bilo v Sloveniji več poskusov uporabe tehnologije GPS (Bernik 1998; Pivk 2005), kot pri žičnicah. V nadaljevanju sta predstavljena dva primera kompleksne uporabe GPS v gozdarskem inženirstvu, ki hkrati razkrivata prednosti in slabosti rabe GPS v gozdarstvu.

3 Projektiranje gozdnih cest s pomočjo GPS

Praktična raba GPS naprav pri graditvi gozdnih cest je omejena na fazo načrtovanja in projektiranja. Ceste predstavljajo trajen poseg v prostor, zato je pri njihovem umeščanju potrebno jasno opredeliti vplivno območje ter pridobiti soglasja strokovnih služb in lastnikov zemljišč. V fazi načrtovanja posega



Slika 2: Izsek geodetskega načrta za gradbeno dovoljenje gozdne ceste Bajs–Goli Cirnik (z dovoljenjem Sklada kmetijskih zemljišč in gozdov Republike Slovenije).

zadošča uporaba orientacijskega GPS za okvirno opredelitev mesta bodočega posega, princip uporabe GPS naprav pri projektiranju pa prikazuje slika 2.

Posebnost gozdarskega projektiranja cest je v tem, da osnovni potek trase določimo neposredno na terenu, ne pa na podlagi geodetskega posnetka terena v pisarni. Pri terenskih delih za pripravo projektne dokumentacije se GPS uporablja kot dopolnilno merilno orodje za posnetek obstoječe infrastrukture in za zajem položaja in nadmorske višine pomembnih točk zakoličene trase, ki si sledijo vsakih 150–200 m. Osnovni potek trase je določen s t. i. ničelnico, pomembne točke trase so njen sestavni del. Ničelnica se na terenu zakoliči in posname z elektronskim daljinomerom ter busolo in naklonomerom.

Zaradi pogreškov pri uporabi preproste merilne opreme je nujna določitev položaja zadostnega števila pomembnih točk s podmetrsko natančnostjo. V primeru dosegljivosti GPRS ali GSM signala je mogoče pridobiti podatke izbrane bazne postaje ali VRS v realnem času. Submetrske pozicije je mogoče pridobiti tudi z naknadno obdelavo GPS podatkov za naprave, ki to omogočajo in le pri terenskih meritvah, ki poleg splošnih pravil dela z GPS napravami (medmrežje 2) zagotovijo zajem:

- GPS pozicij z najmanj sekundnim intervalom;
- točkovnih objektov kot povprečje vsaj 30 (priporočeno 60) GPS odčitkov;
- vseh pozicij v pogojih PDOP < 6,0 (in 10° maski horizonta).

Pri izdelavi projektne dokumentacije za pridobitev gradbenega dovoljenja za gradnjo gozdnih cest kot manj zahtevnega objekta (daljših od 2,0 km ali asfaltiranih oziroma betoniranih na pretežni dolžini) je potrebno poleg predpisanih vsebin geodetskega načrta določiti tudi položaj vseh kardinalnih točk trase (začetek in konec ceste, bližina spornih parcelnih mej, varstvenih pasov ali zavarovanih območij) z geodetsko natančnostjo. Na sliki 2 je bil začetek ceste določen z RTK roverjem (zgoraj desno), pomembna točka trase (spodaj levo) pa z naknadno obdelavo DGPS posnetka količka ničelnice.

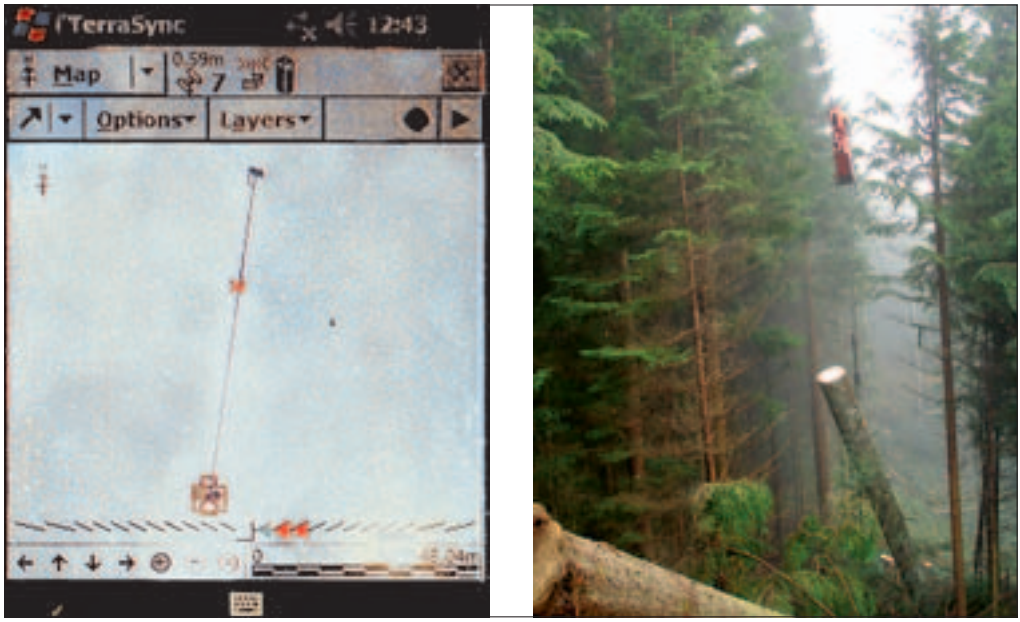
Glavne prednosti neposrednega trasiranja s submetrsko izmero pomembnih točk ničelnice so:
- zadovoljiva situacijska natančnost s preprosto terensko opremo,
- majhno število terenskega osebja,
- korekcija podatkov prostega busolnega poligona,
- zmanjšanje napak zaradi magnetnih odklonov busole.

Glavne pomanjkljivosti opisane tehnike trasiranja gozdnih prometnic pa so:
- nujna uporaba CAD in GIS programov za izdelovanje tehničnih risb,
- dodatna dela pri vzdrževanju in posodabljanju programske ter strojne opreme,
- podražitev dokumentacije zaradi obveznosti najema geodetskih storitev.

Opisan postopek predstavlja edini izvedljiv kompromis, saj je mreža trigonometričnih točk v gozdnem prostoru preredka, kakovost GPS signala v strnjenih sestojih (slika 1) pa prenizka za racionalno izvedbo kakovostne geodetske izmere v okviru razpoložljivih finančnih sredstev pri graditvi gozdne ceste. V zadnjih letih je za projektiranje, izvedbo del in nadzor enega kilometra utrjene gozdne ceste redko na voljo več kot 40.000 EUR (Robek in drugi 2006).

4 Trasiranje linij žičnih naprav s pomočjo GPS

Pri projektu gozdarske žičnice je treba pred začetkom obratovanja žičniške naprave po terenu označiti in posekati ozek in raven koridor (slika 3 levo) za varno in učinkovito delo. Gozdarske žičnice se praviloma postavljajo na terenih z nakloni nad 70 % in vrednost lesa ne prenese stroška postavitve umetnih podpor. Zato je potrebno z najmanjšim obsegom terenskega dela določiti dovolj močno drevo za končno sidro linije in tak položaj stroja na obstoječi cesti, da bo z najmanjšim številom vmesnih podpor ob polni obremenitvi omogočena vožnja vozička po zraku in vlačenje sortimentov do mesta začasnega skladišča (slika 3 desno).



ROBEK ROBERT

Slika 3: Zaslon DGPS sprejemnika pri submetrskem trasiranju žične linije (levo) in postavljena linija gozdarske žičnice pri obratovanju (desno).

Za razliko od projektiranja ceste je potrebno pri trasiraju linije gozdarske žičnice dosegati submetrsko pozicijsko natančnost v realnem času, kar pomeni tako zadostno kakovost GPS signala (PDOP < 6,0) in hkrati GPRS signal za dobavo referenčnih podatkov. Ker tovrstnih zahtev v razgibanem reliefu ni mogoče neprekinjeno zagotavljati daljši čas, se pri praktičnem delu uporablja DGPS v kombinaciji s klasično tehniko trasiranja z busolo situacijske natančnosti ±1°. Vsako busolo je potrebno pred trasiranjem umeriti za diferenco med magnetnim in kartografskim severom. Zaradi zelo strmih terenov se namesto togega grezila priporoča montaža zunanje antene na okvir nahrbtnika, s čimer traser ohrani proste roke za varovanje in plezanje.

Prednosti in slabosti kombinirane tehnike trasiranja žičnih linij so podobne tistim pri projektiranju cest. Pri slabostih pa se namesto stroška geodetske storitve pojavi problem neusklajenosti podatov o nadmorskih višinah. Pomembnim točkam trase z DGPS pridobimo podatke o nadmorskih višinah s pomočjo GPS, profil terena pa največkrat privzamemo iz kartne podlage (TTN 5 ali TTN 10), pri čemer praviloma prihaja do znantnih odstopanj, ki lahko bistveno vplivajo na obratovalno zanesljivost projektirane linije.

5 Natančnost DGPS meritev v gozdu

V obeh predstavljenih primerih je bila uporabljena GPS naprava, za katero proizvajalec zagotavlja, da v povprečnih pogojih omogoča delo s submetrsko položajno natančnostjo. V praksi je submetrsko natančnost težko zagotoviti. Kakovosti DGPS meritev smo ocenili z analizo šestih projektov gozdnih cest, za katere smo imeli podatke uradne geodetske GPS izmere in lastne DGPS meritve, opravljenje z napravo Leica GS20.

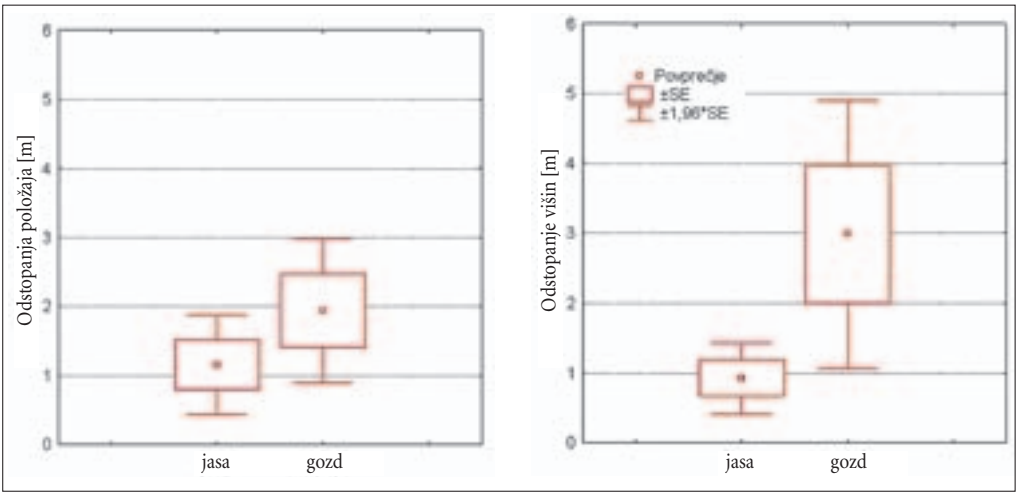
V preglednici 1 so prikazani rezultati odstopanj položaja točk GPS meritev glede na vrednosti dobljene z geodetskim GPS (referenčna vrednost) za devet neodvisnih odprtih lokacij na gozdnih cestah ter devet neodvisnih lokacij pod krošnjami. Ostopanja smo ugotavljali po posameznih koordinatah D48 ter s pomočjo dejanske horizontalne oddaljenosti od referenčne vrednosti. Vse DGPS meritve so zajemale povprečje vsaj 30 sekundnih odčitkov, izključen SA (*Selective Availability*) ter izvedeno naknadno obdelavo.

Povprečne vrednosti situacijskih odstopanj po koordinatnih oseh in horizontalne razdalje od referenčne koordinate v večini primerov presegajo metrski prag. Razlike med odprto površino in meritvami pod krošnjami so za položajno natančnost neznačilni, za odstopanje višin pa na meji statistične značilnosti.

Preglednica 1: Odstopanja med DGPS in RTK izmero (t-test neodvisnih vzorcev).

		vzorec		povprečje		t-test	standarni odklon		F-test
Parameter	enota	jasa	gozd	jasa	gozd	p	jasa	gozd	p
odstopanje po osi E	m	9	9	0,86	1,41	0,4038	1,048	1,586	0,2617
odstopanje po osi N	m	9	9	0,70	1,14	0,1619	0,457	0,773	0,1582
odstopanje položaja	m	9	9	1,16	1,94	0,2449	1,091	1,600	0,2996
odstopanje višin	m	9	9	0,93	2,98	0,0590	0,789	2,929	0,0012

Primerjava intervalnih ocen malih vzorcev za odstopanje horizontalnega položaja in odstopanje višin (slika 4) kaže, da je ostopanje višin pri DGPS meritvah GIS/GPS naprav od referenčnih vrednosti geodetskega GPS enkrat večje kot odstopanje dolžin. Natančnost meritev višin pod krošnjami s submetrskim GPS je majhna.

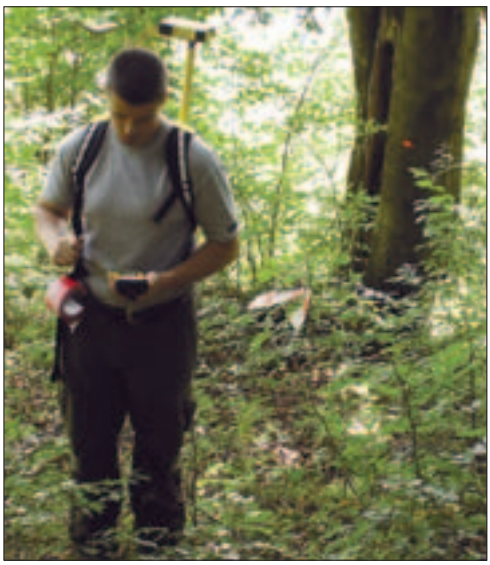


Slika 4: Primerjava intervalnih ocen odstopanj položajne in višinske natančnosti DGPS meritev.

6 Perspektive uporabe DGPS v gozdarskem inženirstvu

Predstavljena primera in analiza natančnosti kažejo, da je GPS tehnologija koristen pripomoček pri vsakdanjem delu v gozdnem gradbeništvu, a hkrati potrjujejo, da je tudi pri uporabi te tehnologije potrebna previdnost.

Objektivna ovira pri sedanji in bodoči rabi GPS v gozdarskem inženirstvu so delovne razmere (slika 5). Strnjen gozd, globoki osojni jarki in bližina debel (multipath) ostajajo zahtevno okolje za kakovosten sprejem GPS, GPRS ali GSM signala, to pa posledično zmanjšuje ali celo onemogoča uporabo GIS/GPS za 'on-line' meritve. Ameriška študija navigacijskih in GIS GPS naprav (Wing in Eklund 2007) je pokazala,



ROBERT ROBEK

Slika 5: Resničnost GPS meritev v gozdarstvu.

da situacijska natančnost DGPS meritev pod gostim sklepom krošenj težko pade pod 7 m. Rezultati naših meritev se bolj skladajo z rezultati Weibel in Kasparja (2007), pri kateri je večina submetrskih meritev z Leica GS20 odstopala od točne pozicije v območju 1–5 m. Dosežena povprečna višinska natančnost DGPS meritev GIS/GPS zaenkrat ne omogoča neposrednega projektiranja cest, niti linij gozdarskih žičnic, še slabši so rezultati višinske izmere z orientacijskimi GPS (Pivk 2005). Dosedanji poskusi uporabe faznih meritev enofrekvenčnih GIS/GPS naprav in VRS signala v gozdnem prostoru pri nas zaenkrat niso dali dobrih rezultatov.

Spremljajoča GIS in CAD programska oprema prestavljata nujen in znaten strošek pri nabavi GIS/GPS. V prihodnje bo naraščal delež spletnih GIS pregledovalnikov (Šumrada 2001, 560–571), ki praviloma nimajo močnejših kartografskih sposobnosti, zato bo taka programska oprema spodbujala bolj poljudno kot profesionalno rabo GPS naprav. Vsak, ki se namerava resno ukvarjati z gozdarskim inženirstvom kot tržno dejavnostjo, bo moral v bodoče, poleg stroškov programske opreme in stroškov informacijskih slojev, upoštevati tudi strošek izobraževanja in usposabljanja.

Objektivnim oviram za širšo rabo GPS v gozdarstvu se pridružujejo številne subjektivne ovire. Med njimi je na prvem mestu podcenjen odnos družbe in gozdarske stroke do inženirstva. Nakazane spremembe gradbene, prostorske, zbornične in gozdarske zakonodaje to oceno potrjujejo in stopnjujejo. Posledično je na tem področju vse manj projektantov, njihova starost je vse višja, njihova naklonjenost novim tehnologijam pa vse manjša.

Svojevrstna ovira je tudi sam trg GPS naprav. Segment, ki je za gozdarstvo najbolj zanimiv, ima relativno majhno dinamiko razvoja, pa še tam je večina opreme narejena s pomanjkljivo kontrolo kakovosti. Na trg prihaja nekakovostna oprema, poprodajne storitve so slabe. Uporabnik ne ve ali bo terensko delo dejansko tudi opravil.

Nasproti nemalo oviram stojijo številne prednosti GPS tehnologij, ki se nakazujejo s:

- povezavo obstoječih in pričakovanih navigacijskih sistemov in GNSS signalov (GPS L5 in GALILEO),
- uvajanjem GPS sprejemnikov III generacije (medmrežje 4),
- tehnološkim razvojem GPS naprav in relativno pocenitvijo GPS sprejemnikov,
- splošnim širjenjem veščin in orodij GPS navigacije, orientacije in kartiranja.

Vse pomembnejši način za popularizacijo GPS tehnologije predstavlja avtomobilska navigacija, satelitsko cestninjenje in sledenje vozil, ki se pospešeno uvajajo tudi v podjetniški sektor gozdarstva. Poleg strokovne rabe omenjenih orodij številni gozdarski praktiki pri svojem delu in v prostem času preizkušajo in uporabljajo vrsto turističnih in pohodniških GPS naprav. Po drugi strani prav ta področja navidezno zamegljujejo razmejitev med orientacijskimi in GIS/GPS napravami ter posredno spodbujajo k zlorabi tehnologije. Najbolj izrazit, a žal ne tako redek primer zlorab GPS naprav v gozdarstvu, je 'določanje' parcelnih mej za lastnike gozdov z orientacijskimi GPS napravami, za kar seveda gozdarska stroka nima pooblastil.

7 Sklep

Gozdarsko inženirstvo je vpeto v celotno gospodarjenje z gozdovi in rabo prostora. Zahteve gozdarskega inženirstva glede kakovosti prostorskih podatkov so trenutno višje od ostali področij gozdarstva, med katerimi je najpogosteje gozdnogospodarsko načrtovanje. Po drugi strani je prav slednje bolj razširjeno in bo verjetno prej oblikovalo kritično maso usposobljenih uporabnikov GPS tehnologije. Tako prvi, kot drugi zbrane GPS podatke tudi urejamo in prikazujemo. Za vsako zbiranje prostorskih podatkov v gozdarstvu je nujno uporabljati GIS GPS enofrekvenčne sprejemnike, DGPS način meritev ter primerno izobraženo osebje.

Relativni zaostanek pri strokovni rabi GPS tehnologij v gozdarstvu bi po našem mnenju najhitreje zmanjšali z načrtnim spodbujanjem uporabe GIS in CAD opreme ter njunim povezovanjem z GPS tehnologijami. Ključno vlogo na tem področju bi morale odigrati izobraževale ustanove ter pri diplo-

mantih razviti zanimanje za pridobivanje in kritično vrednotenje kakovosti prostorskih podatkov. Če bi danes začeli načrtno pospeševati prednosti GPS tehnologije in presegati njene trenutne omejitve, lahko pričakujemo rutinsko rabo GPS tehnologij pri delu v gozdovih v obdobju 5 do 7 let. Cilj je vsekakor uresničljiv, bolj skrbi, da zanj ni pretiranega zanimanja.

8 Viri in literatura

Bernik, A. 1998: Uporaba GPS za kartiranje gozdnih vlak. Višješolska diplomska naloga, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani. Ljubljana.

Colarič, G. 2007. Uporaba GPS pri ugotavljanju sekundarne odprtosti gozdov. Diplomsko delo, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani. Ljubljana.

Korošec, B. 1993: Gozdovi Slovenije skozi čas. Prostorske registrature in mapiranje gozdov do leta 1828. Ljubljana.

Kobler, A. 1997: GPS – novo orodje v gozdarstvu. Gozdarski vestnik 55, 7-8. Ljubljana.

Kopše, I., Hočevar, M. 2001: Pridobivanje prostroskih podatkov v gozdarstvu s pomočjo GPS. Zbornik gozdarstva in lesarstva 65. Ljubljana.

Krajnc, N., Simončič, P., Robek. 2002: Vloga gozdov pri izpolnjevanju Kyotskih zahtev v Sloveniji. 11. mednarodno posvetovanje Komunalna energetika, Maribor, Slovenija, 14.–16. maj 2002.

Medmrežje 1: http://www.fs.fed.us/database/gps/ (14. 1. 2008).

Medmrežje 2: http://www.doylesdartden.com/gis/Improve_GIS_Accuracy.html (3. 3. 2008).

Medmrežje 3: http://www.forst.tu-muenchen.de/EXT/PUBL/quednau/Hamb98.write.html (6. 3. 2008).

Medmrežje 4: http://www.acq.osd.mil/dsb/reports/2005-10-GPS_Report_Final.pdf (7. 3. 2008).

Pivk, I. 2005. Terestična in GPS izmera podolžnega profila gozdne ceste. Diplomsko delo, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani. Ljubljana.

Robek, R., Klun, J., Vončina, R. 2006. Dosežki in izzivi pri graditvi gozdnih prometnic v Sloveniji. Gozdarski vestnik 64-10. Ljubljana.

Šumrada, R. 2001: Prehod od osrednje k porazdeljeni uporabi tehnologije GIS-ov. Geodetski vestnik 45-4. Ljubljana.

Weibel, T., Kaspar, P. 2007: Einsatz von mobilem GIS mit GPS. Wald und Holz, 3–7.

Wing, M. G., Eklund, A. 2007: Performance Comparison of a Low-Cost Mapping Grade Global Positioning System (GPS) Receiver and Consumer Grade GPS Receiver under Dense Forest Canopy. Journal of Forestry, January/February 2007.

DOLOČITEV RAZDALJ MED IZBRANIMI LOKACIJAMI V SLOVENIJI

mag. Samo Drobne, dr. Bojan Stopar, mag. Oskar Sterle, dr. Mitja Lakner
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani
samo.drobne@fgg.uni-lj.si, bojan.stopar@fgg.uni-lj.si, oskar.sterle@fgg.uni-lj.si, mitja.lakner@fgg.uni-lj.si

UDK: 528.718(497.4)
COBISS: 1.16

IZVLEČEK
Določitev razdalj med izbranimi lokacijami v Sloveniji
Pri ugotavljanju izpolnjevanja pogojev za izbiro koncesionarjev za izvajanje gospodarske javne službe ravnanja z izrabljenimi motornimi vozili je potrebovalo Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije vrednosti najkrajših razdalj po javnih cestah med obravnavanimi lokacijami v Sloveniji. Med vožnjo z osebnim vozilom smo določali koordinate točk na poti istočasno s tremi različnimi sprejemniki globalnega satelitskega navigacijskega sistema. Tri množice točk smo nato kombinirali, predvsem na območjih, kjer je prihajalo do izpada sprejema signala. Naloga je zahtevala določitev dolžin poti med izbranimi točkami po javnem cestnem omrežju z relativno natančnostjo 1 %, kar za dolžino poti 50 km predstavlja 500 m.

KLJUČNE BESEDE
razdalja, določitev razdalje, ocena natančnosti, GNSS, GIS

ABSTRACT
Determination of distances between selected locations in Slovenia
To determine the fulfillment of conditions of concessionaires for economic public service on a case of used vehicles, the Ministry of Environment and Spatial Planning of the Republic of Slovenia required determination of the shortest path on public roads between selected locations in Slovenia. Coordinates of a vehicle were determined with three different receivers of global navigation satellite system during personal vehicle drive. Three different sets of coordinates were combined, mainly where the signal was lost. Distances between different locations had to be determined with relative precision of 1%, i. e. 500 m for a 50 km long path.

KEY WORDS
distance, determination of distance, evaluation of precision, GNSS, GIS

1 Uvod

V prispevku opisujemo postopek določevanja razdalj med izbranimi lokacijami v Sloveniji. Poleg predlagane metode določitve razdalj je podana tudi ocena natančnosti določitve teh razdalj.

Razdalja je dolžina poti med dvema točkama. Je numerični opis, kako daleč v prostoru so telesa v poljubnem trenutku v času. V fiziki ali v vsakodnevni rabi se razdalja nanaša na dolžino, časovno dobo ali na kaj drugega po kakšnih drugih kriterijih. V matematiki je razdalja opredeljena strožje: tu je definirana kot dolžina daljice med dvema točkama (medmrežje 1) – dolžina, ki jo določimo iz meritev GNSS (angleško *Global Navigation Satellite System*) izhaja torej iz daljice, ki povezuje dve obravnavani točki. Dolžina ni notranja lastnost ničesar, tako da lahko dva opazovalca merita isto »stvar«, denimo razdaljo med dvema točkama, in izmerita različna rezultata (medmrežje 2).

2 Splošno o določitvi lege na osnovi GNSS opazovanj

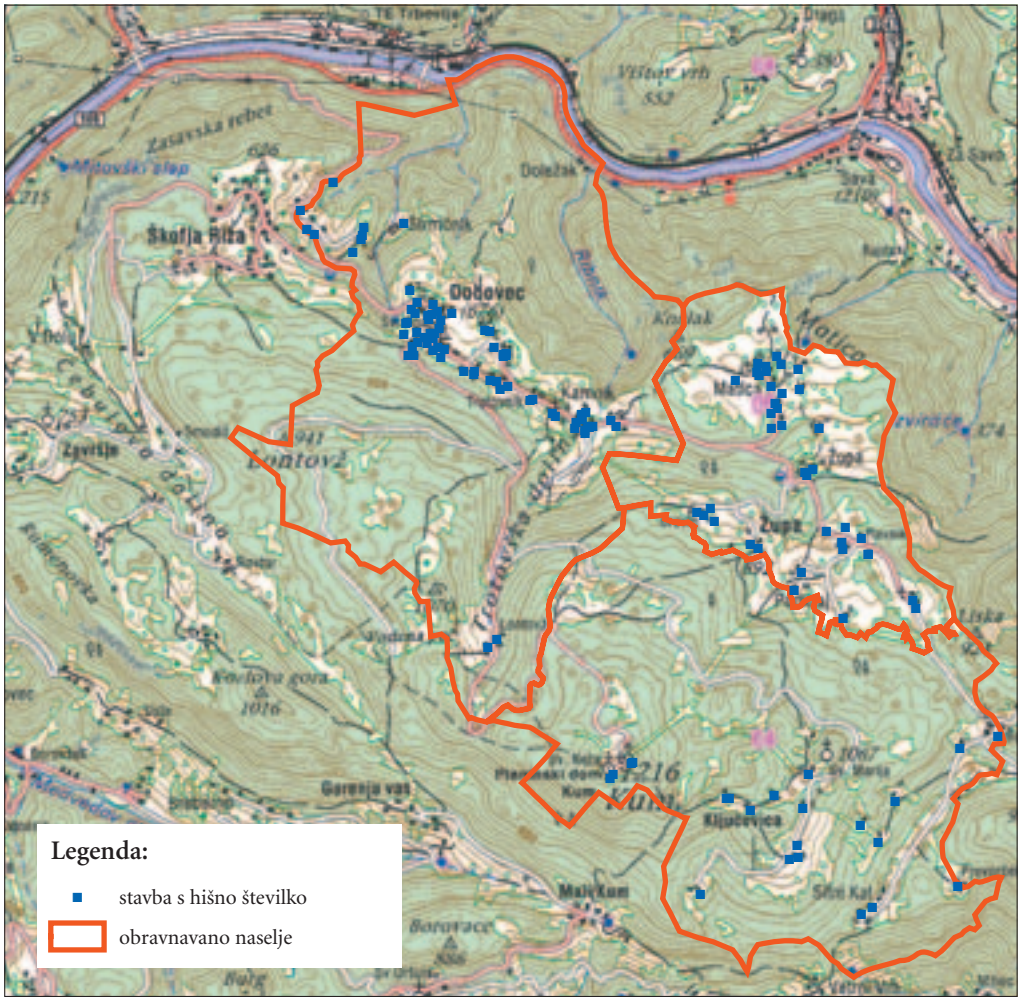
Osnova za določitev lege v sistemu GNSS je določitev razdalje med sprejemnikom in sateliti. Položaj na Zemlji določimo z izmero razdalj do skupine satelitov, ki predstavljajo referenčne točke. Položaj lahko določimo, če poznamo razdalje do vsaj treh satelitov v vesolju. Če poznamo oddaljenost samo od enega satelita, to pomeni, da se nahajamo na neki navidezni sferi v prostoru, ki ima središče v satelitu. Z znanima razdaljama do dveh satelitov se položaj opazovalca v prostoru nahaja na krožnici, kjer se, sferi z znanima polmeroma in središčema, sekata. Tri znane razdalje do treh satelitov pa omejijo možni položaj sprejemnika samo na dve točki, kjer se sekajo vse tri sfere hkrati. Ker ponavadi vemo, kje približno v prostoru se nahajamo, lahko brez težav izberemo pravilen položaj v prostoru. V bistvu to stori že sam sprejemnik GNSS z vgrajeno programsko opremo.

Za določitev razdalj od satelitov v vesolju je potrebno poznati hitrost in čas potovanja radijskega vala od satelita do sprejemnika GNSS. Hitrost razširjanja radijskih valov je poznana, ugotoviti oziroma izmeriti je potrebno časovni interval, ki ga valovanje potrebuje od satelita do sprejemnika. Oddajnik signala na satelitu in sprejemnik na Zemlji sta fizično ločena, zato je časovni interval, ki ga valovanje potrebuje za pot od satelita do sprejemnika, izmerjen z dvema urama.

Trenutek oddaje signala s satelita je izmerjen s satelitovo uro v časovni skali sistema GNSS, trenutek sprejema signala pa s sprejemnikovo uro. Da registrirani časovni interval predstavlja dejanski časovni interval, ki ga je signal potreboval od satelita do sprejemnika, je potrebno obe uri uskladiti. Uskladitev urnih stanj obeh ur pomeni, da je potrebno določiti razliko urinega stanja sprejemnikove ure glede na sistemski čas GNSS ob trenutku sprejema signala. Določitev te, poleg treh koordinat sprejemnika $[x_i, y_i, z_i]$ ali $[\varphi_i, \lambda_i, h_i]$ še četrte neznanke $[dt_i]$, je mogoča z določitvijo razdalje od četrtega satelita do sprejemnika GNSS. Iz tega sledi, da je s pomočjo opazovanj GNSS mogoče določiti koordinate sprejemnika GNSS, če imamo v vsakem trenutku možnost sprejema signala vsaj štirih satelitov.

3 Problem

Pri ugotavljanju izpolnjevanja pogojev za izbiro koncesionarjev za izvajanje gospodarske javne službe ravnanja z izrabljenimi motornimi vozili je potrebovalo Ministrstvo za okolje in prostor (MOP), Republike Slovenije (RS) rezultate meritev najkrajših razdalj po javnih cestah med posameznimi lokacijami v Sloveniji. Naloga je zahtevala določitev dolžin poti med izbranimi točkami po javnem cestnem omrežju z relativno natančnostjo 1 %, kar za dolžino poti 50 km predstavlja 500 m. V nadaljevanju je opisan postopek določitve razdalj med predpisanimi lokacijami ter podana ocena natančnosti določitve teh razdalj.



Slika 1: Stavbe s hišno številko v naseljih Dobovec, Župa in Ključevica.

V ta namen je bilo potrebno izvesti meritve najkrajših razdalj po javnih cestah med:

- lokacijo (stavbo) s hišno številko Zatolmin 1C, Zatolmin in vsemi lokacijami (stavbami) s hišnimi številkami v naselju Strmec na Predelu ter lokacijami (stavbami) v naselju Trenta s hišnimi številkami 1, 4, 7, 9;
- lokacijo (stavbo) s hišno številko Cesta Maršala Tita 67, Jesenice in lokacijami (stavbami) v naselju Trenta s hišnimi številkami 1, 4, 7, 9;
- lokacijo (stavbo) s hišno številko Šlandrova 6, Ljubljana ter najbližjo in najbolj oddaljeno stavbo v naseljih Čeče, Dobovec, Gabrsko, Knezdol, Župa, Ključevica (vse v Upravni enoti Trbovlje).

Rezultati meritev so morali odražati stanje (vrednosti razdalj) po javno dostopnih cestah na dan 27. 11. 2006. V vseh primerih je šlo za merjenje razdalj okrog 50 km po (vsaj delno) zelo razgibanem terenu. Slika 1 prikazuje stavbe s hišno številko v naseljih Dobovec, Župa in Ključevica (vse v Upravni enoti Trbovlje).

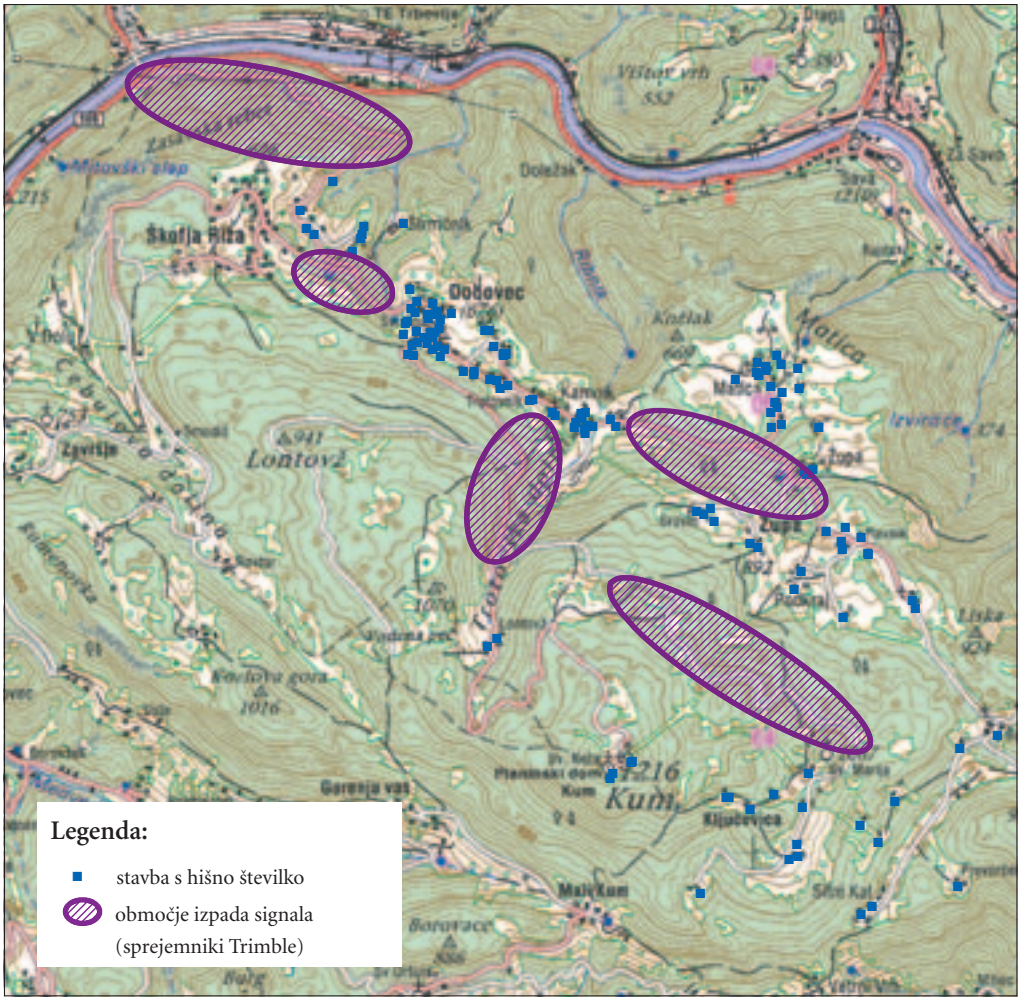
4 Metoda dela

Najkrajše poti do obravnavanih naselij oziroma najbolj oddaljenih stavb s hišno številko smo določili v orodju GIS (geografski informacijski sistem) ArcGIS s pomočjo podatkovnega sloja javnih cest ter podatkov o stavbah s hišno številko iz Registra prostorskih enot (RPE). Določitev najkrajših poti smo preverili tudi v Karti Telefonskega imenika Slovenije TIS 2007.

Meritve razdalj na terenu smo opravili s pomočjo opreme GNSS:

- dva sprejemnika Trimble 4000 SSi in Trimble 4000 SSE z antenama Trimble Compact L1/L2 ter
- Garminovega sprejemnika GPSMAP 76CS.

Med vožnjo z osebnim vozilom z najvišjo hitrostjo do 60 km/h smo na osnovi opazovanj GNSS določali koordinate točk in na osnovi razlik položajev razdalje med njimi. Kot omenjeno, smo jih istočasno določali s tremi različnimi sprejemniki; interval registracije opazovanj GNSS in posledično izračuna



Slika 2: Območje izpada signala oz. sprejem signala z manj kot štirih satelitov na relacijah Trbovlje–Dobovec–Župa–Ključevica.

položaja sprejemnika GNSS je bila ena sekunda. Na ta način smo za vsako obravnavano razdaljo pridobili podatke treh poligonov, ki smo jih nato kombinirali. Sestavljene poligone zajetih poti smo nato generalizirali z natančnostjo DTK25.

Med zajemom podatkov s pomočjo sprejemnikov Trimble je večkrat prihajalo do izpada sprejema signala GNSS, medtem ko je sprejemnik GPSMAP 76CS zaradi kombiniranja opazovanj GNSS in opazovanj hitrosti, elektronskega kompasa in višinomera, večinoma uspešno pridobil koordinate točk na obravnavani poti. Na sliki 2 so prikazana območja izpada signala pri sprejemnikih Trimble na relacijah Trbovlje–Dobovec–Župa–Ključevica (vse v Upravni enoti Trbovlje).

Na območjih, na katerih je prišlo do izpada signala, smo lomne točke poti zajeli oziroma uredili na karti DTK25 ter kontrolirali z načrti TTN5: geodetsko širino φ ter dolžino λ točk na poligonu smo določili na karti DTK25, višine lomnih točk poti pa smo zajeli na dva načina:

- (a) z odčitki višin iz plastnic na kartah DTK25 ter
- (b) z avtomatskim odčitkom višine lomnih točk poti iz podatkovnega sloja digitalnega modela višin DMV12,5.

Prvi način urejanja višin lomnih točk (a) je potekal ročno. Za kontrolo smo podatke pridobljene na ročni način primerjali s podatki (rezultati razdalj) pridobljenih s pomočjo avtomatiziranega načina zajema višin lomnih točk poti iz podatkovnega sloja digitalnega modela višin DMV12,5 (b). V primeru (b) smo dani točki (φ, λ) v WGS 84 koordinatnem sistemu določili nadmorsko višino na sledeči način. Najprej smo poiskali pripadajoči (y, x) koordinati v državnem koordinatnem sistemu, v katerem so podane točke v modelu DMV12,5. Dobljena točka pade v nek kvadrat s stranico 12,5 m, ki ima znane višine oglišč. Z bilinearno interpolacijo smo določili višino dane točke. Postopek avtomatskega odčitavanja višin lomnih točk poti iz podatkovnega sloja digitalnega modela višin DMV12,5 smo izvedli s pomočjo programa *Mathematica.*

Izračune poti v tridimenzionalnem prostoru smo izvedli, za oba primera višin lomnih točk (iz meritev GNSS ter iz podatkov DMV12,5), v programskem orodju *Matlab.*

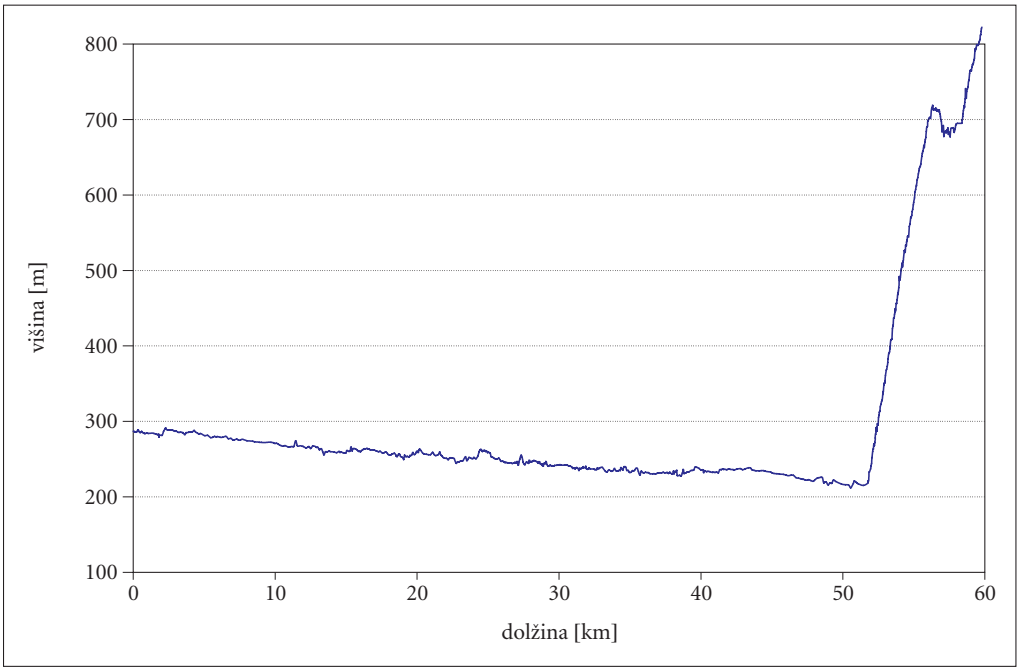
5 Rezultati

Po zgoraj opisani metodi smo določili najkrajše razdalje do predpisanih lokacij v prostoru. V nadaljevanju podajamo primer rezultatov – to je pomembnejše rezultate določitve najkrajših razdalj med potencialno lokacijo koncesionarja za izvajanje gospodarske javne službe ravnanja z izrabljenimi motornimi vozili na naslovu Šlandrova 6, Ljubljana ter najbližjo in najbolj oddaljeno stavbo v naselju Župa.

Preglednica 1: Najkrajši razdalji po javnih cestah med stavbo Šlandrova 6, Ljubljana ter najbližjo in najbolj oddaljeno stavbo v naselju Župa.

Župa (hišna številka)	Razdalja z upoštevanjem nadmorskih višin pridobljenih iz meritev GNSS (m)	Razdalja z upoštevanjem nadmorskih višin pridobljenih iz DMV12,5 (m)	Horizontalna razdalja (m)
29	58.433	58.382	58.345
7	59.789	59.736	59.685

Podobno smo obravnavali in določili razdalje ostalih 40 predpisanih relacij. Poševna razdalja med objektom na naslovu Cesta Maršala Tita 67, Jesenice in objektom Trenta 9 je edina poševna razdalja, ki je krajša od 50 km. To velja tako za razdalje določene z meritvami GNSS kot tiste, kjer smo višine določili preko DMV12,5 Vse ostale določene poševne razdalje so daljše od 50 km.



Slika 3: Vzdolžni profil najkrajše poti med stavbama Šlandrova 6, Ljubljana in Župa 7.

Strogo gledano izpolnjuje pogoj za koncesionarja za izvajanje gospodarske javne službe ravnanja z izrabljenimi motornimi vozili samo kandidat lociran na naslovu Cesta Maršala Tita 67, Jesenice – in še to samo za pokrivanja obravnavane lokacije na naslovu Trenta 9. Samo v tem primeru je določena krajša razdalja od 50 km (določena je razdalja 49.921 m). Vse ostale analizirane razdalje med obravnavanimi lokacijami v Sloveniji so daljše od 50 km. Zato noben od ostalih kandidatov ne izpolnjuje pogojev za pokrivanje obravnavanih lokacij. Od ostalih 40 primerov je najkrajša razdalja do najbližjega kandidata za koncesionarja razdalja 50.024 m stavbe s hišno številko Strmec na Predelu 1 do stavbe Zatolmin 1C, Zatolmin, najdaljša pa med stavbo Knezdol 33, Knezdol ter Šlandrova 6, Ljubljana, ki znaša 65.862 m.

Preglednica 2: Primerjava poševnih in horizontalnih razdalj med obravnavanimi objekti (legenda: razdalja GNSS – razdalja določena z meritvami GNSS; razdalja DMV12,5 – razdalja določena s pomočjo višin lomnih točk poti iz modela DMV12,5).

	razdalja GNSS (m) (a)	razdalja DMV12,5 (m) (b)	horizontalna razdalja (m) (c)	(a) – (b) (m)	(a) – (b) (%)	(a) – (c) (m)	(a) – (c) (%)	(b) – (c) (m)	(b) – (c) (%)
minimum	49.921	49.924	49.980	–4	–0,01	19	0,04	3	0,01
maksimum	65.862	65.786	65.759	76	0,15	121	0,24	107	0,21
povprečje	53.424	53.411	53.759	14	0,03	58	0,12	42	0,08
standardni odklon	4.595	4.575	4.846	16	0,05	26	0,05	18	0,04

Primerjava poševnih razdalj določenih po zgoraj opisanih metodah pokaže, da je poševna razdalja določena z meritvami GNSS (a) v povprečju daljša od tiste, kjer smo višino lomnih točk določili z avtomatskim odčitkom iz podatkovnega sloja digitalnega modela višin DMV12,5 (b): v našem primeru je povprečna razlika med (a) in (b) 14 m, kar je pri kontrolirani oddaljenosti (50 km) komaj 0,3 ‰. Primerjava poševnih razdalj in s horizontalnimi razdaljami (c) pa pokaže, da so razdalje določene s pomočjo meritev GNSS (a) v povprečju za 1,2 ‰ daljše, razdalje določene s pomočjo modela DMV12,5 (b) pa za 0,08 ‰ daljše od obravnavanih horizontalnih razdalj pod navedenimi pogoji. V preglednici 2 so podani rezultati primerjave razdalj 41-tih obravnavanih dolžin. Rezultati v preglednici 2 predstavljajo obravnavane statistike opazovanj: tako se vrednost (a) – (b) v preglednici 2 ne nanaša na vrednosti (a) in vrednosti (b) v preglednici 2, ampak na minimalne, maksimalne ter povprečne vrednosti vseh opazovanj.

6 Ocena natančnosti določitve dolžin poti na osnovi GNSS opazovanj

Kot smo že omenili, je naloga zahtevala določitev dolžin poti med točkami po javnem cestnem omrežju z relativno natančnostjo 1 %, kar za dolžino poti 50 km predstavlja 500 m.

Uporabljen sprejemnik GNSS določa položaj na dva načina, in sicer v odvisnosti od prisotnosti oziroma odsotnosti signala GNSS. V primeru, da je signal GNSS prisoten (možna opazovanja razdalj od vsaj 4 satelitov), se položaj določi preko izmerjenih psevdorazdalj sateliti-sprejemnik. Tak položaj je v primeru določanja položaja z uporabo podpore WAAS (angl. *Wide Area Augmentation System*) dobljen z natančnostjo 3–5 m za 95 % slučajev (Garmin 2004, 82–83). Tej natančnosti odgovarja standardni odklon položaja točke na terenu σ_P=1,5 m.

Dolžino d_i med dvema zaporednima točkama na poti s položajema P_{i+1} in P_i lahko obravnavamo preko vekorja premika $\Delta\vec{r}_i$ vozila med tema dvema točkama, ki ju vektorsko opišemo z radij vektorjema $\vec{r}_{i+1}$ in $\vec{r}_i$, $i = 1, \ldots, n$: $\Delta\vec{r}_i = \vec{r}_{i+1} - \vec{r}_i$

Dolžino med točkama P_{i+1} in P_i dobimo kot drugo normo vektorja $|\Delta\vec{r}|_2$, kjer velja:

$$|\Delta\vec{r}|_2 = |\vec{r}_{i+1} - \vec{r}_i|_2 \le |\vec{r}_{i+1}|_2 + |\vec{r}_i|_2$$

Če vzamemo numerično skrajno vrednost, ko velja enakost med razliko norm in normo razlik, lahko za merilo natančnosti dolžine d_i uporabimo standardnim odklonom σ_{di}. Pridobimo jo preko t. i. prenosa varianc in kovarianc (disperzija transformirane normalne slučajne spremenljivke, kjer je transformacija linearna funkcija). Ker sta varianci obeh položajev $P_{i+1}(|\vec{r}_{i+1}|_2)$ in $P_i(|\vec{r}_i|_2)$ enaki in znašata $\sigma^2_{Pi+1} = \sigma^2_{Pi} = \sigma^2_P = 2{,}25\,m^2$, velja:

$$\sigma^2_{di} = \sigma^2_{P_{i+1}} + \sigma^2_{P_i} = 2 \cdot \sigma^2_P$$

Povsem enak rezultat pridobimo s strogo obravnavo komponent vektorjev položajev točk na poligonih. Skupno dolžino prevožene poti D dobimo kot vsoto delnih n dolžin d_i:

$$D = \sum_{i=1}^{n} d_i$$

Varianca σ^2_D skupne dolžine poti D znaša: $\sigma^2_D = 2 \cdot n \cdot \sigma^2_P$

Za interval 3600 sekund (in toliko določenih položajev) dobimo natančnost oziroma standardnim odklonom skupne dolžine poti $\sigma_D \approx 130$ m. Nobena razdalja ni bila določena na osnovi izvedenih opazovanj GNSS, ki bi časovno trajala več kot 3600 sekund, zato lahko trdimo, da smo uspeli določiti razdalje med izbranimi točkami v Sloveniji s potrebno natančnostjo.

Statistično gledano, lahko za več kot pol izmerjenih dolžin ugotovimo (takih je 24), da noben izmed kandidatov ne izpolnjuje pogoj pokrivanja obravnavanih lokacij. Če privzamemo za vse izmerjene raz-

dalje najslabše natančnosti, t. j. $\sigma_D = 130$ m in normalno porazdelitev izmerjenih dolžin, potem lahko trdimo za vse obravnavane lokacije – razen za Strmec, hišne številke od 1 do 21, ter Trenta 9 – da so od kandidatov za koncesionarja oddaljene za več kot 50 km. To lahko trdimo s stopnjo zaupanja 97,5 %.

7 Sklep

V prispevku smo predstavili metodologijo določitve najkrajših razdalj po javnih cestah med izbranimi stavbami s hišno številko v RS s pomočjo GIS in GNSS. Najkrajše razdalje med obravnavanimi lokacijami v Sloveniji smo določili z relativno natančnostjo 1 % – kar za dolžino poti 50 km predstavlja 500 m. V prispevku smo tudi podali oceno natančnosti določitve dolžin na osnovi izmere GNSS.

Tukaj se je raziskovalno delo izvajalca raziskovalne naloge končalo. Naloga Ministrstva za okolje in prostor RS, Direktorata za okolje pa je bila, da se na podlagi predloženih rezultatov odloči glede izpolnjevanja pogojev za izbiro koncesionarjev za izvajanje gospodarske javne službe ravnanja z izrabljenimi motornimi vozili.

Zahvala

Raziskava je bila izvedena v okviru projektne naloge Meritve razdalj med izbranimi lokacijami v RS (naročnik: Ministrstvo za okolje in prostor, Republike Slovenije; izvajalec: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo).

8 Viri in literatura

Garmin GPSMAP 76CS owners manual, Garmin International, Taiwan, Part No. 190-00341-00 Rev. C, 2004.

Medmrežje 1: http://sl.wikipedia.org/wiki/Razdalja (22. 2. 2008).

Medmrežje 2: http://sl.wikipedia.org/wiki/Dolžina (22. 2. 2008).

Stopar, B., Drobne, S. Sterle, O. 2007: Meritve razdalj med izbranimi lokacijami v RS, Projektna naloga, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani. Ljubljana.

ANALIZA DOSTOPNOSTI PREBIVALSTVA DO JAVNIH DEJAVNOSTI Z JAVNIM POTNIŠKIM PROMETOM S POMOČJO DVEH GIS GRAVITACIJSKIH MODELOV

dr. Marjan Čeh, dr. Alma Lamovšek Zavodnik
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani
mceh@fgg.uni-lj.si, azavodni@fgg.uni-lj.si

Janez Rom, Damijan Kiderič
janez.rom@gmail.com, dkideric@yahoo.com

UDK: 528.738:656.132
COBISS: 1.16

IZVLEČEK
Analiza dostopnosti prebivalstva do javnih dejavnosti z javnim potniškim prometom s pomočjo dveh GIS gravitacijskih modelov
V našem prispevku obravnavamo učinke modeliranja dostopnosti javnih storitev za prebivalce in njihovo gravitacijo k točkam storitve javnega avtobusnega prevoza z dvema različnima modeloma izvedenima v GIS okolju. V prvem modelu dostopnost izvedemo z določitvijo najbližjih sosedstev s pomočjo mrežne analize storitvenih območij v cestnem omrežju. Drugi model je izvedba mreženja v 2 D oziroma z Vornoi diagrami, katere omejimo s sprejemljivo pešaško razdaljo. Primerjava rezultatov izvedbe obeh modelov kaže razliko v stopnji podrobnosti določitve dostopnosti storitev javnega avtobusnega prevoza za prebivalstvo v deležu 10,2 odstotkov od rezultata izvedenega z omejenimi Vornoi diagrami. Mrežna storitvena območja omogočajo večjo podrobnost modeliranja dostopnosti saj upoštevajo konfiguracijo omrežja cest kot sredstva za dostopnost do avtobusnih postaj. V prispevku pokažemo tudi akumulacijski tok največjega števila potencialnih potnikov na vožnji proti občinskemu središču.

KLJUČNE BESEDE
dostopnost, javne dejavnosti, javni potniški promet, mrežna analiza, tesalacije

ABSTRACT
Analysis of accessibility to public services by public transportation based on two GIS gravitation models
Accessability of public services by public transportation network has been analysed by comparison of modeling results calculated in two concurent models. Namely nearest neighboorhood modeled by service area within road network and nearest neighboorhood modeled by Vornoi diagram limited by acceptable walking distance. Comparison of results shows the difference of resolution of modeling applied by two models in a share of 10,2 percent of results by Vornoi network. Service area within the road network offers higher resolution of modeling of accessabitlity since it uses the configuration of road network as means of walking access to bus stations. In the article we show the maximal passenger accumulation flow on the bus ride towards central public service district.

KEY WORDS
accessability, public services, public transportation, network analyses, tesalations

1 Uvod

V tem prispevku želimo primerjati dva GIS pristopa k modeliranju gravitacije prebivalcev k avtobusnim postajališčem javnega potniškega prometa. Linije avtobusnega potniškega prometa so vezane na cestno omrežje, katerega model smo vzpostavili za izbrano občino Duplek, ki je predmet obravnave. V raziskavi smo uporabili predpostavko, da prebivalci, ki živijo izven pešaškega dostopa do javnih dejavnosti potencialno gravitirajo k posameznim avtobusnim postajam in potujejo v središča javnih dejavnosti katerim formalno pripadajo. Izračunali smo frekvence ponujenih potovanj na delovni dan s posamezne postaje do središča javnih dejavnosti za prebivalce, ki gravitirajo k posamezni postaji. Za eno izbrano vožnjo proti željeni lokaciji želimo pokazati tudi potencialne tokove uporabnikov javnih dejavnosti. Željena lokacija je v našem primeru izbrano občinsko središče.

Pri analizi smo uporabili dva različna gravitacijska modela za avtobusne postaje in sicer model najbližjega sosedstva izvedenega z Vornoi diagrami ter mrežna storitvena območja avtobusnih postaj v modelu cestnega omrežja. Osredotočili smo se na smeri potovanja proti občinskemu središču, smeri potovanja iz središča pa na tem mestu ne obravnavamo.

2 Pregled literature

Uporaba GIS tehnologije na področju prometa je pomembna tudi zaradi možnost iskanja potencialnih potnikov javnega potniškega prometa. Sposobnost sistematičnega kartiranja položajev potencialnih potnikov je ključna funkcija načrtovanja storitev javnega potniškega prometa s pomočjo GIS-a, ki omogoča identificirati posameznike ali skupine potnikov, ki jim je mogoče ponuditi zadovoljive potovalne možnosti (Thompson 2000).

Analize delovanje avtobusnega javnega prevoza so podatkovno intenzivne in jih je mogoče znatno izboljšati s topološkim prekrivanjem ter mrežnimi analizami v GIS programskem okolju (Papacostas 1995). Kimpel s sodelavci (2007) raziskuje preskrbo z javnim transportom in meri prostorske parametre na raven posamezne avtobusne postaje, ter časovno v jutranji konici. Z GIS orodji izmeri stopnjo relativne dostopnosti med konkurenčnimi avtobusnimi postajami na osnovi podatkov o ponudbi in povpraševanju po tej storitvi. Pri tem so mu na voljo samodejno zbrani podatki o vstopih potnikov na posamezni postaji.

V raziskavi (Drobne, Paliska 1997) je ugotovljeno, da je v krajih v Sloveniji, ki imajo kombinacijo avtobusne in železniške postaje, potniki pogosteje izbirajo avtobus kot način prevoza. Rastrski pristop s kontinuiranim modelom dostopnosti je pokazal teritoralno porazdeljenost slovenskih občinskih središč z vidka potovalnih časov (Drobne 2003). Drobne (2005, 2005a) je z rastrskim GIS-om analiziral dostopnost lokacij na ozemlju Slovenije do najbližjega upravnega središča in dokazal, da 72,5 % prebivalstva potuje z avtom do središča najbližje občine manj kot 10 minut. Napovedal je tudi izboljšanje porabe časa na potovalnih razdaljah po dokončanju izgradnje avtocestnega križa v Sloveniji.

Tudi Bogataj s sodelavci (2006) izvede napoved tokov potnikov z izboljšavo potovalnih časov glede na nove investicije v cestno infrastrukturo v Sloveniji s pomočjo internetno zasnovanega gravitacijskega modela. V raziskavi dostopnosti do avtobusnih postajališč Paliska s sodelavci (2000) izračuna evklidske razdalje do centroidov stavb s hišno številko ter ugotovi, da je povprečna oddaljenost hiš do avtobusnih postajališč 823 m in da je polovica hiš v Sloveniji od avtobusnega postajališča oddaljena manj kot 512 m. Šetinc s sodelavci 2006 je izvedel analizo storitev kvartarnega sektorja na osnovi mreže povezav občinskih središč po državnem cestem omrežju. Uporabljena so bila GIS orodja in izdelan je bil model izolinij enake časovne dostopnosti do storitev javnih služb.

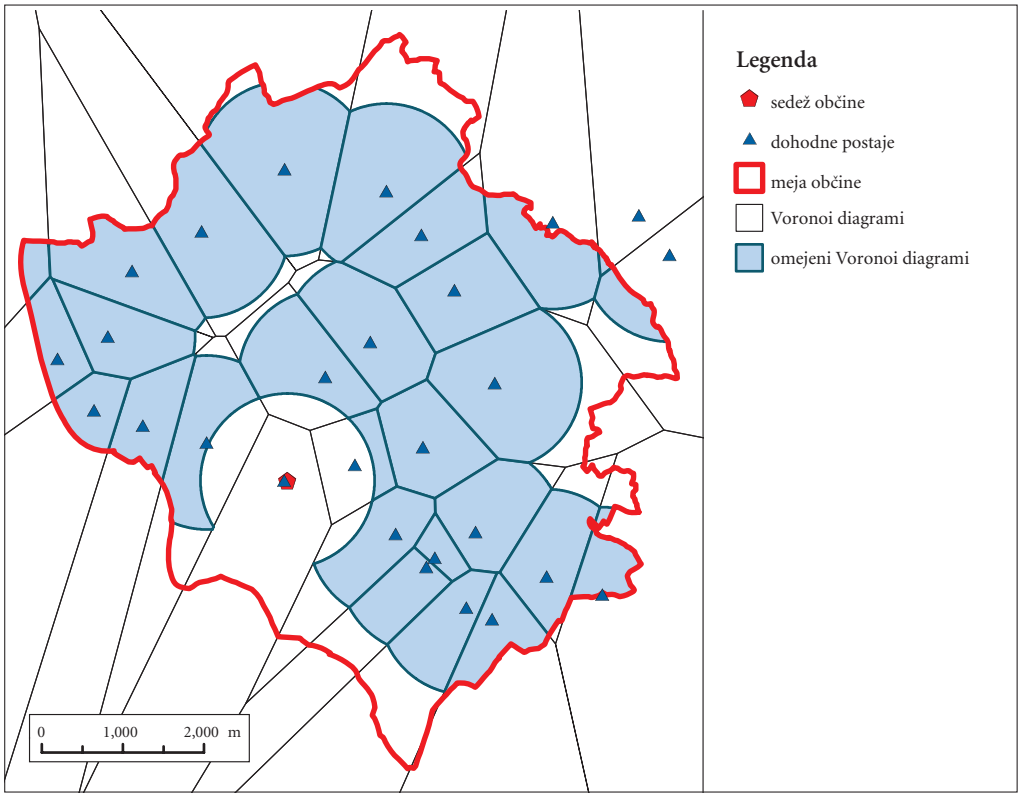
Področje modeliranja javnega potniškega prometa z GIS metodologijo je zelo razgibano. S tem prispevkom želimo prispevati nov vpogled v obravnavano tematiko modeliranja z GIS orodji.

3 Metodologija

V našem prispevku smo želeli prikazati razliko med rezultati uporabe dveh GIS gravitacijskih metod določitve najbližjega sosedstva in sicer Vornoi diagramov ter mrežne analize storitvenih območij. Za izvedbo primerjave obeh modelov smo uporabili več nizov prostorskih in atributnih podatkov, ki smo jih morali ustrezno pripraviti. Ključni podatkovni vir za analizo avtobusnih prevozov predstavlja Avtobusni VoznoRedni Informacijski Sistem (AVRIS), ki ga sestavlja več preglednic, ki jih dopolnjujejo slovenski avtobusni prevozniki (vir: DRSC 2007). Za našo raziskavo smo uporabili štiri preglednice iz navedenega sistema:

- preglednica Postajališča z lokacijami postaj,
- preglednica Vožnje vsebuje posamezne vožnje avtobusov (od začetne do končne postaje),
- preglednica Vožnje opisi pove skozi katere postaje avtobus pelje na posamezni vožnji (po vrstnem redu in glede na smer),
- preglednica Režimi pove ob katerih dnevih te vožnje potekajo (ob delavnikih, praznikih, med šolskimi počitnicami).

Drugi uporabljeni podatkovni viri pa so podatkovni sloj sedežev občin – občinska središča v Sloveniji (vir: TIS 2008 in NVAtlas 2008), podatkovni sloj meja občin (vir: GURS 2007), podatkovni sloj nekategoriziranih cest, podatkovni sloj evidence hišnih številk (EHIŠ, vir: GURS 2006).



Slika 1: Storitvena območja avtobusnih postajališč občine Zgornji Duplek.

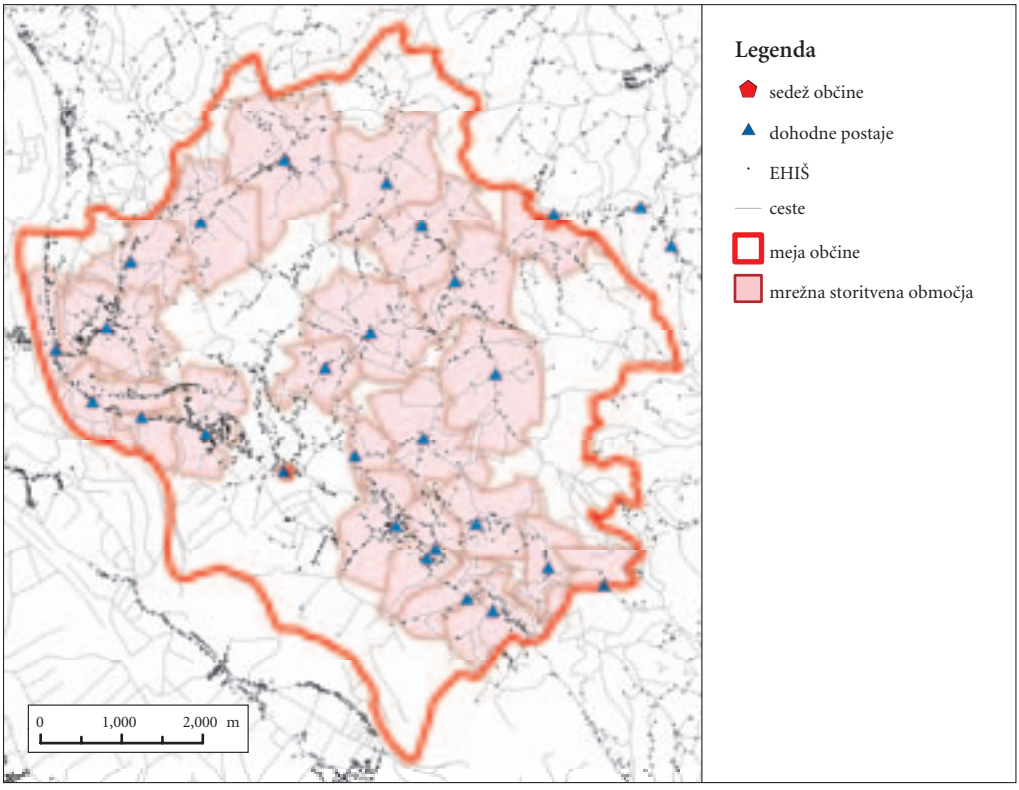
3.1 Določitev najbližjih sosedstev z mrežno analizo storitvenih območij

Mrežno storitveno območje je zaključen poligon, ki pokriva tiste dele cest v omrežju, ki so od dane točke v omrežju dosegljive glede na izbrano upornost potovanja (na primer: razdalja, razgibanost terena, čas). S pomočjo mrežnih storitvenih območij lahko ocenjujemo dostopnost storitve, s čimer lahko ugotovimo, koliko entitet se nahaja znotraj najbližjega mrežnega sosedstva.

V našem primeru smo izgradili omrežje cest za občino Duplek in njeno okolico ter določili točke storitev, ki jih predstavljajo avtobusne postaje. Za upornost potovanja smo izbrali razdaljo, za določitev meje storitvenega območja pa vrednost 1075 m. Povprečen pešec hodi s hitrostjo 4,3 km/h. Za hojo največ 15 minut od doma je ta razdalja 1075 metrov (Pogačnik 2001). S tako dobljenimi poligoni najbližjega mrežnega sosedstva (slika 1) smo identificirali hiše in posredno število prebivalcev, ki pripadajo storitvenemu območju vsake avtobusne postaje. Predpostavljamo, da prebivalci do avtobusnih postaj pešačijo po cestah, ki so vključene v izgrajeno omrežje cest.

3.2 Določitev najbližjih sosedstev z Vornoi diagrami (mreženje v 2D)

Voronoi diagrami obravnavajo sosedske odnose med točkami iz niza točk, in sicer katera točka je kateri najbližja, oziroma katera je od katere najbolj oddaljena. S konstrukcijo Voronoi diagrama je povezana tudi aplikacija določitve najbližjega sosedstva (Marlin), pri čemer želimo najti objekt, ki je najbližji dani točki iz niza točk. V primeru splošnega metričnega prostora se takšni objekti imenujejo metrični



Slika 2: Najbližja sosedstva avtobusnih postaj izvedena z omejenimi Vornoi diagrami.

fundamentalni poligoni in predstavljajo najbližje sosedstvo dane točke. V primeru dvodimenzionalnega prostora imajo metrični fundamentalni poligoni obliko nepravilnega satovja, mozaika (tesalacija).

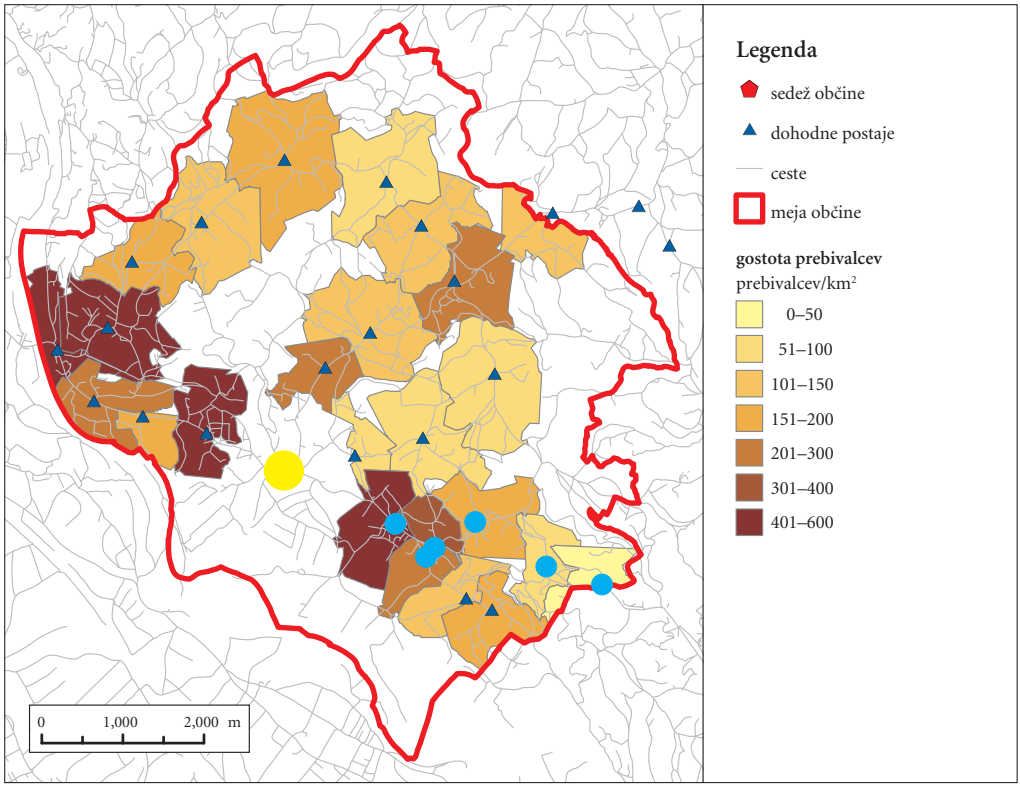
V naši raziskavi so niz iskalnih točk predstavljale lokacije avtobusnih postaj. Za njih smo izdelali mozaik fundamentalnih poligonov (zgoraj opredeljenih Vornoi diagramov), katerih meje predstavljajo meje sosedstev avtobusnih postaj. Tako dobljene fundamentalne poligone smo dodatno omejili z evklidsko razdaljo 1075 metrov, kar za načrtovanje razmeščanja dejavnosti v prostoru predstavlja še sprejemljivo pešaško razdaljo (slika 2).

Avtobusna postaja, ki se nahaja v samem občinskem središču ima poseben položaj v omrežju. Predpostavljamo, da prebivalci, ki živijo v najbližjem sosedstvu te avtobusne postaje, ne uporabljajo javnega prevoza, da bi lahko uporabili storitve občinskega središča, ampak tja pešačijo. Zato v sloju najbližjih sosedstev avtobusnih postaj izločimo območje, ki pripada avtobusni postaji v središču občine in to upoštevamo v obeh modelih.

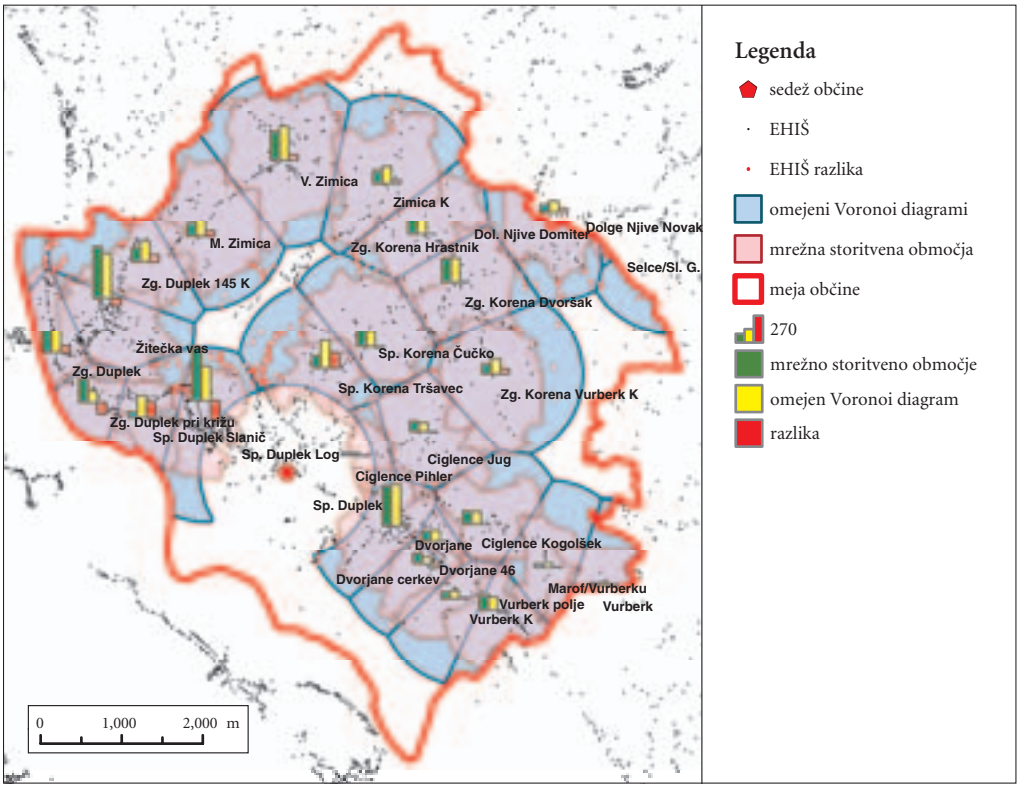
Prav tako je možno, da prebivalci obrobja obravnavane občine zaradi bližine hodijo na postaje, ki so v sosednjih občinah. Zato moramo nizu postaj dodati še postaje, ki so v pešaškem dosegu izven meje občine.

3.3 Avtobusne linije in vožnje

Na osnovi baze podatkov AVRIS in sloja avtobusnih postajališč smo izdelali sloj dohodnih voženj, usmerjenih proti občinskemu središču. Tako smo dobili pogled na lokacije postaj izbrane vožnje. Izbrane



Slika 3: Primer toka največjega števila potencialnih potnikov na vožnji proti občinskemu središču Sp. Duplek.



Slika 4: Model z omejenimi Vornoi diagrami zajame v povprečju 10,2 % prebivalcev več kot model mrežnih storitvenih območij.

postaje smo povezali v avtobusno linijo. Vsak odsek smo opremili s potencialnim številom potnikov, to je številom prebivalcev storitvenega območja prejšnje postaje. Nato smo v smeri potovanja seštevali potencialne potnike in tako dobili največje število potencialnih potnikov na tej dohodni vožnji (slika 3).

Stvarno stanje števila potnikov na tej vožnji je seveda mnogo manjše, vendar bi za ugotovitev tega stanja potrebovali izvedbo natančnega štetja potnikov oziroma ocenjeno (anketno) ugotavljanje števila potnikov na tej vožnji, kar pa ni predmet te raziskave. Na tem mestu smo želeli prikazati le možnost prikaza akumulacijskega toka, tako kot smo ga sami oblikovali.

4 Rezultati

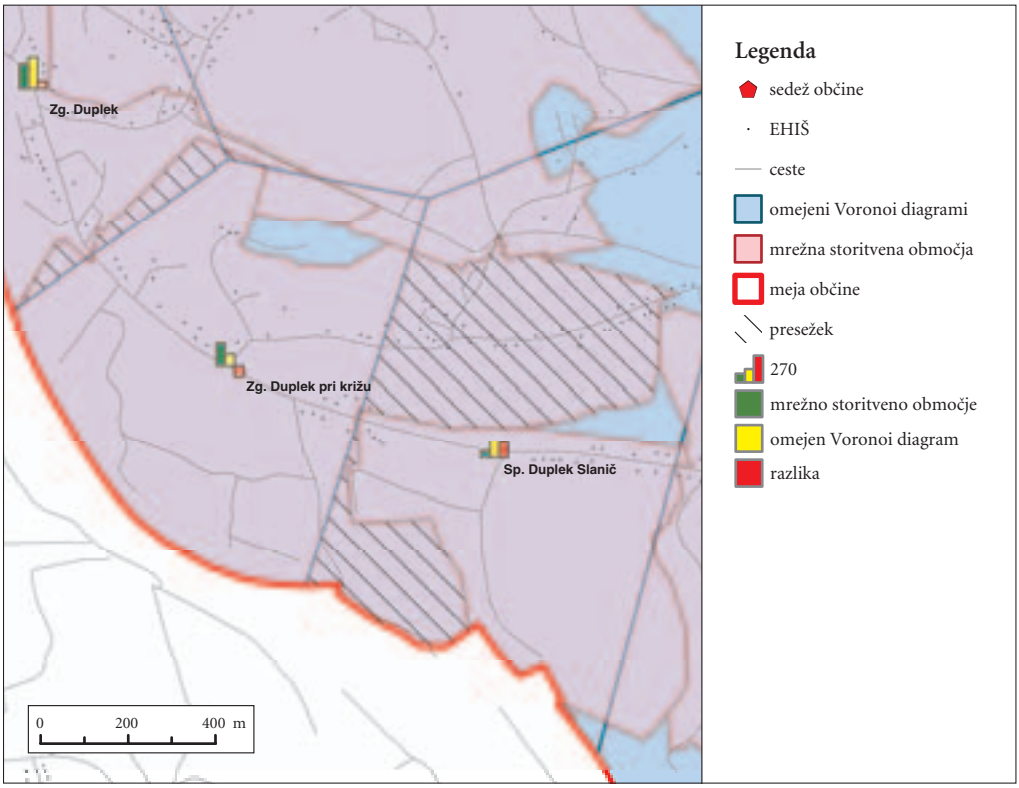
Oba modela ugotavljanja najbližnjega sosedstva avtobusnih postaj dajeta različne rezultate glede števila v posamezen model zajetega prebivalstva. Razlog za razlike med rezultatoma štetja potencialnih potnikov je v različnemu metodološkem pristopu obeh modelov, ki je razviden iz spodnje preglednice (preglednica 1), četudi smo za omejitev v obeh modelih uporabili enako vrednost še sprejemljive pešaške razdalje. V drugem stolpcu preglednice je navedena frekvenca prehodov avtobusov preko postaje v smeri cilja (občinskega središča). Razlika števila prebivalcev določena na osnovi razlik pokrivanja različnega območja z različnima modeloma najbližjih sosedstev je navedena v tretjem stolpcu. Zadnji stolpec preglednice izkauzje to razliko v odstotkih. Povprečna razlika v deležu znaša 10,2 odstotka.

Preglednica 1: Razlika v številu prebivalcev določeno z dvema konkurenčnima gravitacijskima modeloma znaša v povprečju 10,2 %.

ime postaje	frekvenca prehodov	razlika med številom prebivalcev v omejenem Vornoi diagramu in v mrežnem storitvenem območju	delež razlike števila prebivalcev (razlika: število prebivalcev v omejenem Vornoi diagramu) v %
Ciglence Jug	2	–14	–15,2
Ciglence Kogolšek	5	–4	–3,0
Ciglence Pihler	2	–6	–24,0
Dogoše GD	15	31	100,0
Dolge Njive Domiter	2	38	31,7
Dvorjane	16	19	4,6
Dvorjane 46	5	5	4,3
Dvorjane cerkev	16	–44	–67,7
M. Zimica	1	58	30,4
Marof/Vurberku	5	6	13,0
Selce/Slovenj Gradec	1	7	100,0
Spodnji Duplek (občinsko središče)	32		
Spodnji Duplek Log	15	–201	–57,8
Spodnji Duplek Slanič	15	166	72,2
Spodnja Korena Čučko	1	–16	–10,3
Spodnja Korena Tršavec	1	162	55,7
Velika Zimica	1	55	15,5
Vurberk	6	10	29,4
Vurberk K	12	12	14,0
Vurberk polje	5	–15	–10,8
Zgornji Duplek	16	68	21,2
Zgornji Duplek 145 K	1	70	32,0
Zgornji Duplek pri križu	15	–117	–97,5
Zgornja Korena Dvoršak	3	7	2,9
Zgornja Korena Hrastnik	2	–1	–0,7
Zgornja Korena Vurberk K	2	50	32,1
Zimica K	1	34	21,3
Žitečka vas	1	–74	–16,4

V sliki 4 so po velikosti soritrane razlike v številu prebivalcev, ki lahko nastopajo v vlogi potencialnih potnikov z vsake od navedenih postaj potujoč v smer občinskega središča. V sliki 5 pa razlike iz preglednice prikazujemo z grafi v karti za vsako avtobusno postajo posebej. Posebej so prikazane tudi hiše, ki jih pokriva zgolj model Vornoi diagramov (rdeče pike).

Kjer storitveno območje zajame več prebivalcev kot gravitacijsko (na primer postaja Zgornji Duplek pri križu) je dobro vidna razlika med modeloma (slika 6). Mrežni storitveni model sledi cestam po katerih prebivalci dajansko hodijo do avtobusnih postaj. V sliki 6 je s šrafuro prikazan učinek konfiguracije cestnega omrežja na določitev meja območja mrežnega storitvenega modela, ki lahko povzroča znatne razlike med pokrivnostjo obeh obravnavanih modelov. Na postaji Zgornji Duplek pri križu se zaradi



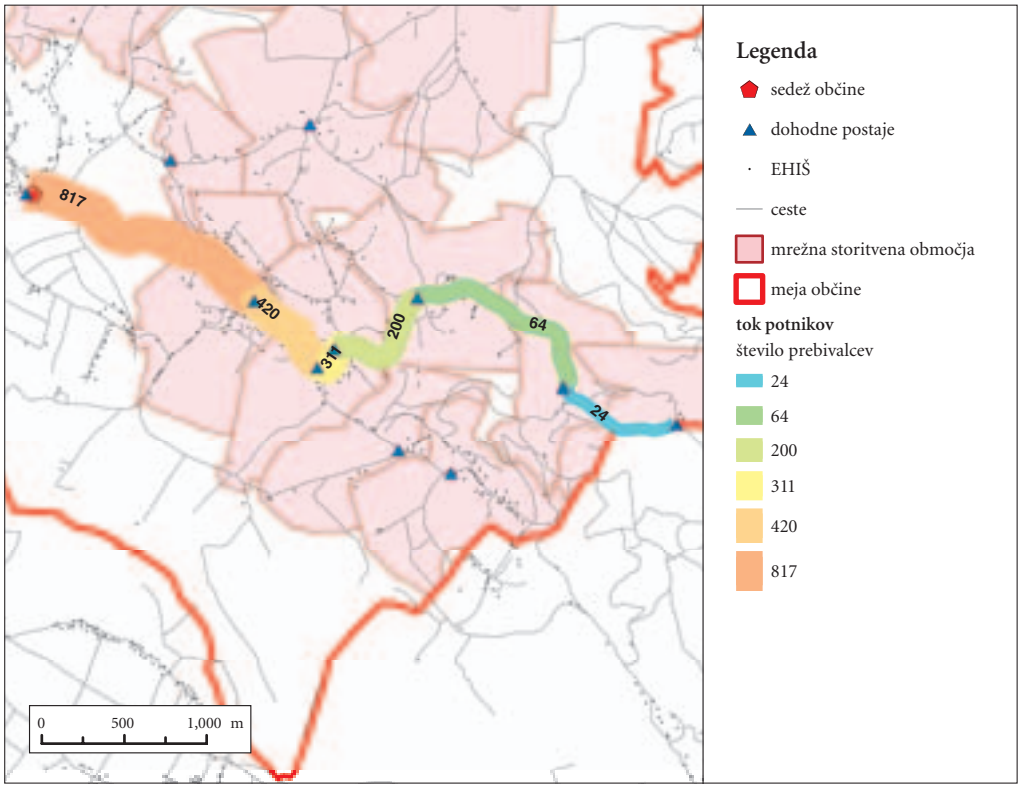
Slika 5: Razlika števila prebivalcev med modeloma na posamezni avtobusni postaji.

specifične konfiguracije cestnega omrežja meja storitvenega območja znatno razteza preko omejenega Vornoi diagrama pripadajočega tej postaji in se razteza v območje Vornoi diagrama sosednje avotobusne postaje Spodnji Duplek Slanič.

5 Sklep

Obravnavana modela določanja najbližjih sosedstev sta uveljavljena v GIS praksi. Pokazali smo razlike v rezultatih modeliranja za primer dostopnosti prebivalcev do javnih storitev z javnim avtobusnim prevozom na prmeru občine Duplek. Določitve najbližjih sosedstev avtobusnih postaj z modelom mrežnih storitvenih območij omogoča bolj stvarno obravnavo za izbrano problemsko področje, ker upošteva konfiguracijo cestnega omrežja po katerem se odvija tudi pešačenje od hiš do avtobusnih postaj.

Glede na praktično nalogo določitve števila potencialnih potnikov v najbližjem sosedstvu posamezne postaje, ki bi potovali na avtobusnih vožnjah proti občinskemu središču, na osnovi rezultatov sklepamo, da je v ta namen bolj zanesljiv mrežni storitveni model. Primerjava rezultatov izvedbe obeh modelov namreč kaže razliko v stopnji podrobnosti določitve dostopnosti storitev javnega avtobusnega prevoza za prebivalstvo v deležu 10,2 odstotkov od rezultata izvedenega z omejenimi Vornoi diagrami. Stopnja zanesljivosti tega modela je odvisna tudi od gostote cestnega omrežja. Prikazan akumulacijski tok največjega števila potencialnih potnikov na vožnji proti občinskemu središču služi le kot prikaz usmeritve nadaljevanja naše raziskave.



Slika 6: Razlika na postaji Zgornji Duplek pri križu.

6 Viri in literatura

AVRIS, Medmrežje: http://www.avris.si (2007).

Bogataj, M., Drobne, S., Gaiduchenko, O. 2006: Development of web based gravity model for forecasting the commuters' flows. ICTE in regional development: annual proceedings of Vidzeme University College. Valmiera.

Drobne, S. 2003: Modelling accessibility fields in Slovene municipalities. 7th International Symposium on Operational Research in Slovenia, Podčetrtek.

Drobne, S. 2005: Do administrative boundaries fit accessibility fields in Slovenia?. Environmental engineering: the 6h international conference, Vilnius.

Drobne, S., Bogataj, M., Paliska, D., Fabjan, D. 2005: Will the future motorway network improve the accessibility to administrative centres in Slovenia. The 8th International Symposium on Operational Research in Slovenia, Nova Gorica.

Drobne, S., Paliska, D. 1997: GIS support for analysis of passenger flows. Zbornik referatov. Portorož.

DRSC, Medmrežje: http://www.dc.gov.si (2007).

GURS, Medmrežje: http://www.gu.gov.si (2006).

Kimpel, T., Dueker, K., El-Geneidy, A. 2007: Using GIS to Measure the Effect of Overlapping Service Areas on Passenger Boardings at Bus Stops. Urban and Regional Information Systems Association, medmrežje: http://www.urisa.org/kimpel.

Marlin, A., Mreženje v 2D – Voronoi, CAD lab – LECAD. Medmrežje: http://www2.lecad.si/documents/seminarji/resitve/4.18/Html1.html

NVATLAS, Medmrežje: http://kremen.arso.gov.si/NVatlas (2007).

Paliska, D., Drobne, S., Fabjan, D. 2000: Vpliv dostopnosti do avtobusnih postajališč na odločitev potnikov o transportnem sredstvu v RS. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1999–2000. Ljubljana.

Papacostas, C. 1995: GIS Application to the Monitoring of Bus Operations, Compendium of Technical Papers. Medmrežje: http://www.eng.hawaii.edu/~csp/Mygis/busgis.html.

Šetinc, M., Kočevar, H., Krivec, D. 2006: GIS modeliranje dostopnosti do storitev kvartarnega sektorja po državnem cestnem omrežju. 8. Slovenski kongres o cestah in prometu, Portorož.

Thompson, B. 2000: Using GIS to Target / Market Potential Bus Riders. Medmrežje: http://gis.esri.com/library/userconf/proc00/professional/papers/PAP604/p604.htm.

TIS, Medmrežje: http://tis.telekom.si/ (2008).

UPORABA LASERSKEGA SKENIRANJA ZA OPAZOVANJE PRETEKLIH POKRAJIN – PRIMER OKOLICE KOBARIDA

Žiga Kokalj, dr. Krištof Oštir
Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU
ziga.kokalj@zrc-sazu.si, kristof@zrc-sazu.si

dr. Klemen Zakšek
Institute of Geophysics, Univeristy of Hamburg, Hamburg, Nemčija
klemen.zaksek@zmaw.de

UDK: 528.74:902(497.4Kobarid)
COBISS: 1.16

IZVLEČEK
Uporaba laserskega skeniranja za opazovanje preteklih pokrajin – primer okolice Kobarida
Tehnologija laserskega skeniranja se uveljavlja kot ena najboljših metod za zajem trirazsežnih prostorskih podatkov. Zaradi možnosti izdelave natančnih modelov višin pod vegetacijskim pokrovom se vedno bolj uporablja tudi pri študijah preteklih pokrajin. Digitalni model višin, ki je bil z metodo REIN (repetitive interpolation) izdelan za Kobarid z okolico je razkril do sedaj nevideno sliko ostalin človekovega delovanja in naravnih procesov na tem območju, od najzgodnejših gradišč, jarkov in okopov, prek objektov prve svetovne vojne do bolj sodobnih sprememb pokrajine. Z naprednimi metodami vizualizacije, npr. maksimumom analitičnega senčenja in bipolarnim diferenciranjem, smo ugotovili lokacije znanih arheoloških najdišč, nakazale so se tudi nekatere nove možne lege.

KLJUČNE BESEDE
lidar, lasersko skeniranje, arheologija, vizualizacija, Kobarid

ABSTRACT
The application of laser scanning in the study of past cultural landscapes – Kobarid case study
Laser scanning technology is rapidly evolving as one of the most accurate three-dimensional spatial data acquisition methods. It is gaining in popularity in the studies of past landscapes because of the possibility to elaborate a precise elevation model under the vegetation cover. Digital elevation model, produced with REIN (repetitive interpolation) technique for the area around Kobarid, uncovered a previously unseen view of remains of past human activities and natural processes in the area, from the earliest hill forts, moats and trenches, and First World War structures to the more recent modifications of the landscape. Advanced visualization techniques, e. g. maximum of analytical hillshading and bipolar differentiation, have revealed details of known archaeological sites and indicated locations of unknown ones.

KEY WORDS
lidar, laser scanning, archaeology, visualization, Kobarid, Slovenia

1 Uvod

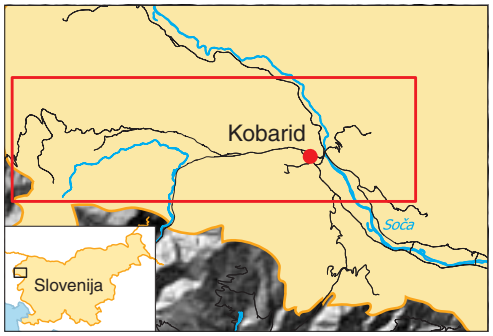
Pri preučevanju človekove preteklosti – tako bližnje kot daljne, in ne glede na ožji predmet in specifične cilje raziskav – je prostorski vidik izrednega pomena. Prepoznavanje prostorske razporeditve ohranjenih materialnih sledov človekovega življenja, njegovih posegov v naravo in najrazličnejših dejavnosti je bistvenega pomena za razumevanje posameznih družb in njihovega razvoja. Zato teoretske in metodološke spremembe na področju arheoloških raziskav v zadnjih desetletjih niso presenetljive: zanimive niso več zgolj formalne lastnosti posameznih arheoloških ostankov, njihova tipologija in razvoj, temveč vse bolj tudi prostorska razmerja med njimi in odvisnost razmestitve določenih tipov materialnih ostankov od naravnih dejavnikov in vsakokratnega kulturnega konteksta. Ni odveč poudariti, da so, z vidika današnje družbe in trajnostnega razvoja, prav tovrstna spoznanja bistvenega pomena tudi za primerno upravljanje z naravno in kulturno dediščino.

Prvine kulturne pokrajine je mogoče registrirati s terenskimi pregledi, ki so še vedno neizogibni za pridobivanje nekaterih podrobnejših podatkov, vendar tehnike daljinskega zaznavanja omogočajo veliko hitrejši in bolj sistematičen zajem tovrstnih informacij, neredko tudi prepoznavanje elementov, ki jih zaradi njihove konfiguracije ali nepreglednosti terena s tradicionalno tehniko terenskega pregledovanja ni mogoče zaznati. Daljinsko zaznavanje iz satelitov in letal je že močno uveljavljeno, pri čemer se v zadnjih letih težišče raziskav pomika k uporabi visoko ločljivih in hiperspektralnih satelitskih posnetkov. Poleg tega pa v zadnjih letih pridobiva v svetu vse večjo vlogo lidarsko snemanje.

Izraz lidar je okrajšava za LIght Detection and Ranging, torej »svetlobno zaznavanje in merjenje razdalj«. Gre za tehnologijo, ki omogoča določanje razdalje do objektov ali površin z uporabo laserskih pulzov. Lidarski sistem ustvari dve podatkovni zbirki, in sicer podatke o položaju snemalnega sistema, dobljene s sistemom pozicioniranja, in podatke o odbojih oz. razdaljah. Iz obeh vrst podatkov lahko izračunamo točko odboja na površju in ji – ponavadi kot atribut – pripišemo red odboja (prvi, drugi … zadnji) in njegovo intenziteto. Končni rezultat snemanja je torej oblak točk, ki predstavljajo odboje na različnih predmetih, tako na tleh kot v vegetaciji in stavbah ter drugih naravnih in antropogenih elementih. V primerjavi z večino optičnih sistemov daljinskega zaznavanja so lidarske meritve bistveno bolj podrobne (imamo lahko do nekaj deset odbojev na kvadratni meter) in pozicijsko točne: absolutna napaka v navpični in vodoravni smeri je velikostnega reda 10 cm (Wehr in Lohr 1999). V tem smislu so primerljive s kakovostnimi letalskimi fotogrametričnimi snemanji, pred katerimi pa imajo odločilno prednost – takojšnjo predstavitev tretje dimenzije za vsako izmerjeno točko. Koordinate laserskih odbojev so podane absolutno, zato v primerjavi z aerofotosnemanji odpade potreba po ortorektifikaciji ali stereomodeliranju (Baltsavias 1999).

Za enostavnejšo interpretacijo moramo posnet oblak točk najprej primerno obdelati. Glavni izdelek lidarskega snemanja je digitalni model višin (DMV), to je rastrski sloj, ki podaja obliko zemeljskega površja, poleg tega pa lidar omogoča tudi pridobivanje podatkov o vegetaciji, recimo o strukturi rastlinskega pokrova, sestojni višini, sestojnem sklepu in podobno. Tako model višin kot model vegetacijskega pokrova, to je model višin vegetacije, sta podatka, ki ju lahko uporabimo za analizo preteklih kulturnih pokrajin, saj so oblike in karakteristike površja, ki jih v precejšnji meri odseva vegetacija, neposredno vplivale na človekovo poselitev in rabo prostora. Z ustrezno obdelavo lidarskih podatkov je mogoče dobiti izdelek, ki prikazuje tudi antropogene objekte, tako moderne (npr. stavbe, daljnovode itd.) kot tiste, ki pripadajo bolj ali manj oddaljeni preteklosti (npr. spremembe vrste rabe tal v poljedelske namene, ostanke raznovrstnih struktur iz arheoloških obdobij itd.).

Določene podatke o spremembah v prostoru lahko dobimo tudi z optičnim daljinskim zaznavanjem, recimo z interpretacijo letalskih fotografij, vendar je uporabnost te tehnike v Sloveniji omejena, saj so mnogi elementi preteklih kulturnih pokrajin zarasli z gozdom, ki pokriva vse večji del Slovenije (trenutno več kot 60 % ozemlja, še leta 1880 je delež znašal le 39 %). Sposobnost prehajanja skozi vrzeli v vegetaciji (prodiranja skozi drevesne krošnje) je zato ključna prednost lidarja. S tem omogoča detajlno kartiranje in izmero preraščenih arheoloških struktur (nasipov, okopov, jarkov, jam, ostankov



Slika 1: Območje snemanja Kobarida z okolico.

hiš itd.) (Kershaw 2002; Bewley s sodelavci 2005), fosilnih polj in obdelovalnih teras (Sittler 2004), nekdanje zemljiške razdelitve (npr. rimske centuriatio), opuščenih kamnolomov in rudarskih kopov, gomilnih grobišč in starih (npr. rimskih, srednjeveških) cestnih tras ter drugih ostankov nekdanje kulturne pokrajine v specifičnih okoljih, kjer druge tehnike terenskih pregledov ne dajejo zadovoljivih rezultatov (Challis 2005). Kljub očitni primernosti in velikim prednostim, ki jih nudi (Devereux s sodelavci 2005), se je na področju raziskovanja preteklih kulturnih pokrajin lidar pričel uporabljati razmeroma pozno in z malo izkoriščenimi zmožnostmi. Raziskovalci namreč uporabljajo le obdelane podatke, ki jih pripravijo ponudniki. Poznavanje in razvoj algoritmov obdelave ter njihovo namensko prilagajanje zato nudi veliko možnosti izboljšav in posledično učinkovitejše analize pridobljenih podatkov.

Prav slednje je bilo v središču pozornosti v nadaljevanju opisane raziskave. Za študijsko območje aplikacije razvitih algoritmov obdelave in predstavitve (vizualizacije) lidarskih podatkov smo izbrali Kobarid z okolico (slika 1), saj gre za naravno in arheološko-zgodovinsko izredno zanimivo in razgibano okolje. Strma, gozdnata pobočja in dejavni geomorfološki procesi nudijo velik izziv za odkrivanje ostalin preteklega človekovega delovanja, od natančnega kartiranja okopov iz prve svetovne vojne, zaznavanja kasnejšega zakrivanja sledov okupacijskih sil, do izdelave in dopolnjevanja zemljevidov številnih poznanih a neraziskanih arheoloških najdišč in odkrivanja še neznanih.

V nadaljevanju so opisani tehnika pridobitve natančnega digitalnega modela višin, načini vizualizacije pridobljenih podatkov in ugotovitve za študijsko območje.

2 Izdelava digitalnega modela višin in vizualizacija podatkov

Ena od najpomembnejših značilnosti lidarja je izjemno velika količina podatkov, ki jih proizvede. To je do nedavnega predstavljalo eno od ovir širjenju njegove uporabe izven raziskovalnih krogov, saj sta »ročna« analiza podatkov in vizualna fotointerpretacija izvedljivi le za zelo majhne prostorske izseke. Dosežena moč računalnikov, zlasti pa razvoj učinkovitejših in bolj robustnih algoritmov za samodejno interpretacijo podatkov (Lohmann s sodelavci 2000; Nardinocchi s sodelavci 2003; Sithole 2005), pa sta pripomogla k širši uporabnosti tehnologije. Oblak točk, ki ga proizvede instrument, vsebuje višinske podatke o zemeljskem površju, vključno z vegetacijo, stavbami ter drugimi naravnimi in antropogenimi elementi. V primeru izdelave modela reliefa, del katerega so lahko ostanki iz preteklosti, odboji s prej omenjenih objektov niso pomembni, zato jih je potrebno s filtriranjem ali segmentacijo izločiti iz izvornih podatkov (Hyyppä s sodelavci 2004). Med pomembnejše parametre z različnimi značilnostmi in zahtevami pri filtriranju sodijo razgibanost, poraščenost in pozidanost površja (Kraus s sodelavci 1998; Jacobsen s sodelavci 2003). Glavni ugotovitvi primerjave različnih filtrov (Sithole s sodelavci 2004) sta, da je večina algoritmov vezanih na določen tip pokrajine ter da je za izboljšanje rezultatov potrebno uporabiti kombinacijo različnih pristopov. Zato je bil uporabljen algoritem filtriranja lidarskih podat-

kov REIN *(repetitive interpolation),* ki deluje zanesljiveje in natančneje kot do sedaj znani, zlasti pa je primeren za generiranje DMV v strmih gozdnatih območjih (Kobler s sodelavci 2007).

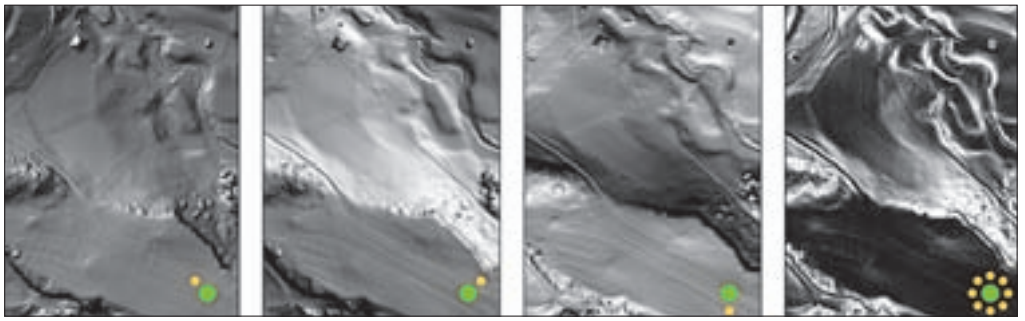
REIN se od drugih (deterministčnih) algoritmov razlikuje po statističnem pristopu in izkoriščanju redundance v podatkih za izločanje motečih točk v trirazsežnem oblaku odbojev. Uporablja dve fazi filtriranja. V prvi fazi se z eno izmed obstoječih metod filtriranja (običajno z geomorfološkim filtrom, vendar lahko uporabimo tudi katero drugo metodo) odstrani vse odboje, ki ležijo pod terenom in večino, vendar ne nujno vse, odboje, ki ležijo nad terenom. V drugi fazi so iz prvotno filtriranega oblaka točk odstranjeni še preostali ne-talni odboji ter generiran model višin. Algoritem uporablja več ocen višine terena za vsako posamezno točko rastrske mreže, ki jih interpolira z okolišnjih točk odboja v mreži neenakih trikotnikov (TIN). Ocene višine se računajo na podlagi večih neodvisnih nizov vzorčnih odbojev, izbranih iz predhodno filtriranega oblaka točk. Kot vozlišča v TIN lahko nastopajo tudi odboji z vegetacije, ki s predhodnim filtriranjem niso bili odstranjeni. Namesto TIN lahko za računanje ocen višine točk rastrske mreže uporabimo tudi druge metode interpolacije. Končne višine terena so določene s prištetjem povprečnega odmika (global mean offset) spodnjim mejam distribucij višin, ki niso pod vplivom preostalih odbojev z vegetacije (Kobler s sodelavci 2007).

Preglednica 1: Snemalni parametri pri skeniranju okolice Kobarida.

datum snemanja	4. in 16. marca 2007, med 9:00 in 12:00
instrument	Riegl LMS-Q560
platforma	helikopter
velikost območja	3 krat 18 km
širina pasu snemanja	60 m
višina leta	450 m
hitrost oddajanja pulza	100 kHz
skupno število točk	500.000.000
napaka laserskih meritev	med 5 in 8 cm
število digitalnih ortofoto posnetkov	507, ločljivost 20 cm

Nastavitve algoritma so bile skrbno izbrane in prilagojene za arheološko interpretacijo, zato je bilo uporabljeno filtriranje manj intenzivno, kar je na modelu višin ohranilo stavbe in manjše robove ter s tem mnoge sledove pomembne za tolmačenje preteklih pokrajin, hkrati pa tudi nekatere moteče dejavnike, kot so smreke, skozi veje katerih lidar zaradi gostote iglic običajno ne prodre.

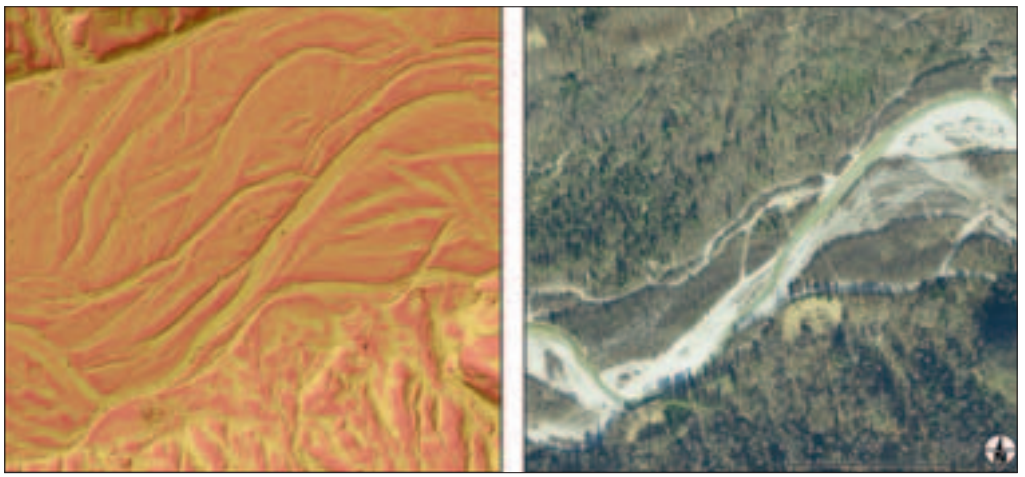
Sledove človekovega delovanja v pokrajini lahko obravnavamo kot zvezen pojav, ki je rezultat raznolikih dejavnosti z različno ravnjo intenzivnost. Prostorsko se te dejavnosti v različnih časovnih obdobjih prekrivajo, zato je njihovo iskanje brez vnaprejšnjega poznavanja okolja zapleteno, interpretacija pa lahko zavajajoča. Slednje še zlasti velja za interpretacijo podatkov daljinskega zaznavanja zaradi česar so načini izluščenja informacij in njihovega prikaza še toliko bolj pomembni. Za lažjo berljivost reliefa ter povečanje njegove razpoznavnosti tudi osebam, ki za delo s prostorskimi podatki niso posebej izurjene, običajno uporabljamo analitično senčenje. Sence so eden izmed osnovnih psiholoških dejavnikov vidnega zaznavanja prostora, saj v našo predstavo o prostoru vnesejo plastičnost in globino, kar nam omogoča prepoznati obliko teles in njihove medsebojne odnose. Za prikaz je največkrat izbrana sivinska barvna lestvica. Ker je analitično senčenje mogoče tudi enostavno in hitro izračunati, je običajno izbrano za prikaz reliefa za namene arheološke interpretacije. Običajno je model višin senčen z azimutom 315° in višinskim kotom 45°, kar ustreza standardni osvetlitvi delovnega prostora – običajno imamo na delovni mizi svetilko, ki je postavljena pred in ne za nami. Ker smo navajeni na ta način osvetlitve, nam analitično senčenje z azimutom blizu juga vzbuja tako imenovani psevdoefekt – doline zamenjamo z grebeni in vdolbine z vrhovi. Največji omejitvi analitičnega senčenja sta slaba razpoz-



Slika 2: Primerjava senčenja (od leve proti desni) iz severozahoda, severovzhoda in juga ter maksimuma senčenja.

navnost detajlov v temnih sencah in nerazpoznavnost linearnih struktur, ki ležijo v smeri senčenja. Če senčenje izvedemo v več smereh, omogočimo s primerjavo rezultatov razkritje vseh objektov in povečamo kontrast rezultatov (slika 2). Korak k bolj razumljivim rezultatom lahko storimo z združitvijo izračunanih slojev senc. Vsakemu slikovnemu elementu pripišemo le največjo vrednost v nizu slojev, senčenih iz različnih smeri, s čimer dobimo sliko maksimuma analitičnega senčenja s poudarjenimi robovi. Četudi je ta metoda manj primerna za samodejno prepoznavanje robov kot npr. Sobelov filter, je za potrebe arheološke interpretacije naprednejša, saj ne prikaže le najbolj zaznavnih robov pač pa tudi manj očitne ter notranjo strukturo robov na pobočjih.

Za arheološko interpretacijo je primeren tudi prikaz z bipolarnim diferenciranjem. S to tehniko razdelimo površje na višinske pasove enakih velikosti, nato jih obarvamo glede na višino znotraj višinskega pasu (Podobnikar 2005). To storimo z linearno ali kakšno drugo (logaritmično, eksponentno) lestvico. Na ta način lahko dobro prikažemo relativne višinske razlike predvsem v ravninskem svetu, v primeru razgibanega reliefa pa lahko višinske pasove interpretiramo kot plastnice. Pri lokalnem opazovanju oblik površja, npr. na ravni najdišča, na ta način lepo razkrijemo predmete z majhnimi relativnimi višinskimi razlikami (slika 3).



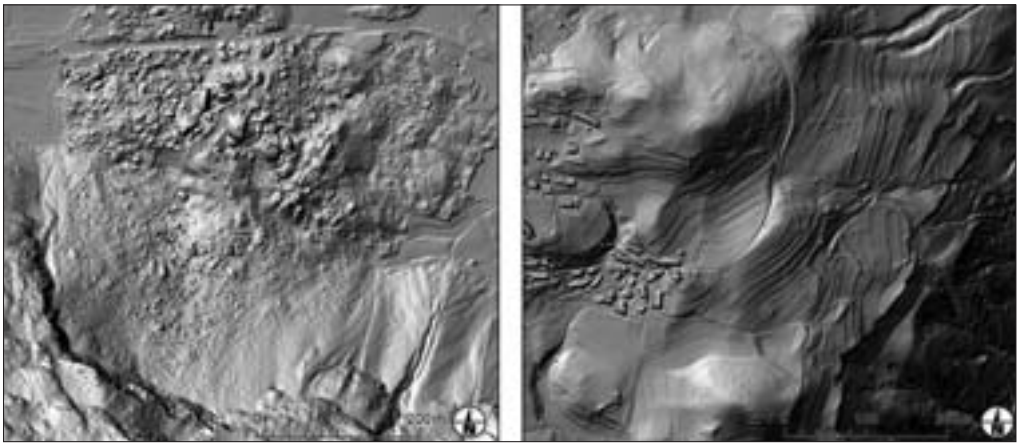
Slika 3: Prikaz nekdanjih strug Nadiže vzhodno od Podbele s kombinacijo tehnike bipolarnega diferenciranja podatkov, ki jim je bil zaradi nagiba odstranjen trend, in senčenja (levo) in isto območje na ortofoto posnetku (desno).

3 Prikaz človekovega delovanja in naravnih procesov

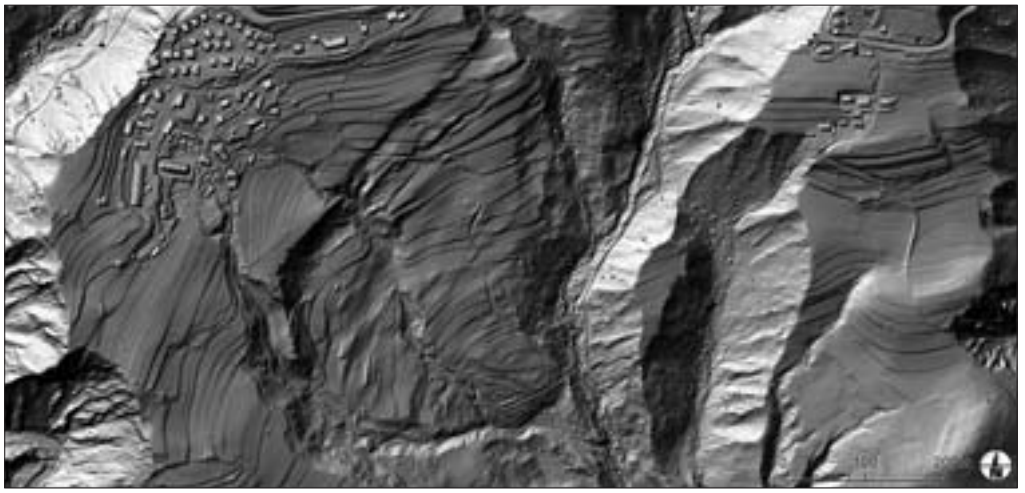
V nadaljevanju so prikazani in opisani nekateri naravni procesi in sledovi človekovega delovanja v pokrajini, kot jih je mogoče opaziti na lidarskih podatkih okolice Kobarida. Prikazani so skalni podor, plaz, hudourniške grape, arheološki najdišči, kulturne terase in strelski jarki iz prve svetovne vojne.

Na strateško izjemno pomembnem mestu, pred vhodom Nadiže v dolgo ozko sotesko, ki vodi proti Italiji, so v različnih obdobjih prazgodovine in antike obstojale postojanke, ki so prostor varovale in nadzorovale. Vse so slabo arheološko raziskane in zaradi bojev v prvi svetovni vojni neredko tudi močno poškodovane. Na vzpetini Der pri Robiču je imelo namreč sedež poveljstvo inženirstva celotnega IV. armadnega korpusa italijanske vojske, zaradi česar je bilo vse bližnje območje zgledno (»šolsko«) in gosto prepredeno z utrdbami in številnimi objekti. Obdelani lidarski posnetek prvič daje zanesljiv vpogled v velikost in oblikovanost prazgodovinskih gradišč na Deru in Sv. Volarju in kaže obseg kamnitega nanosa plazu v Molidi, ki je prekril pomembno poznorimsko postojanko (Ciglenečki 2007; Cimprič 2007). Molida je domnevno postpleistocenski skalni podor. Vzroke za njegov nastanek je potrebno iskati v vsesplošnem podiranju pobočij po umiku ledenikov. Podorni bloki so veliki tudi krepko prek 1000 m^3, na nekaterih od njih so ostanki bojnih položajev iz prve svetovne vojne (Komac in Zorn 2007) (slika 4). Z lidarskimi podatki je mogoče izračunati razmeroma točno velikost podora, kot tudi količino odstranjenega materiala za preboj ozkotirne železnice, ki je bila s prevozi od Čedada do Sužida pomemben način oskrbe enot v Zgornjem Posočju. Zmožnost natančnih izračunov količin premeščenega materiala je zelo pomembna lastnost lidarskih podatkov, zlasti npr. v rudarstvu, gradbeništvu in zaščiti pred naravnimi nesrečami, ki so v opazovanih krajih pogoste.

Naselja ob vznožju Stolovega grebena ogrožajo zlasti snežni plazovi, najbolj obsežna pa so plazovita območja nad vasjo Borjana. Strmina pobočij in velika količina padavin spodbujata erozijo, zato so nastale obsežne, danes ogozdene, hudourniške grape. Na njihovih robovih so si prebivalci uredili kulturne terase, vendar so nekatere grape tudi mlajše od teras. Jugozahodno od vasi Homec je odličen primer, ki to potrjuje (slika 5). Kulturne terase na popolnoma gozdnatem »otoku« med hudournikom Crkovnik in manjšo grapo proti vzhodu dokazujejo mlajši nastanek vsaj zgornjega dela omenjene grape. Zanimiv je primer plazu Mlake med Crkovnikom in vasjo Sedlo, proti zahodu, kjer se terase nadaljujejo kljub več metrski stopnji, ki jih je prerezala. Južno od Sedla vodi do obdelovalnih zemljišč pot mimo zgornjega roba grape hudournika Močenjak, nato pa se razcepi v vsaj šest krakov. Zdi se, da je spremembam smeri in višine poti botrovala



Slika 4: Skalni podor Molida z lepo vidnim prebojem za ozkotirno železnico in izkopom za gradbeni material (levo) ter kulturne terase vzhodno od vasi Logje, ki so že domala povsem zarasle z gozdom, vendar na lidarskem posnetku še vedno dobro razpoznavne (desno).

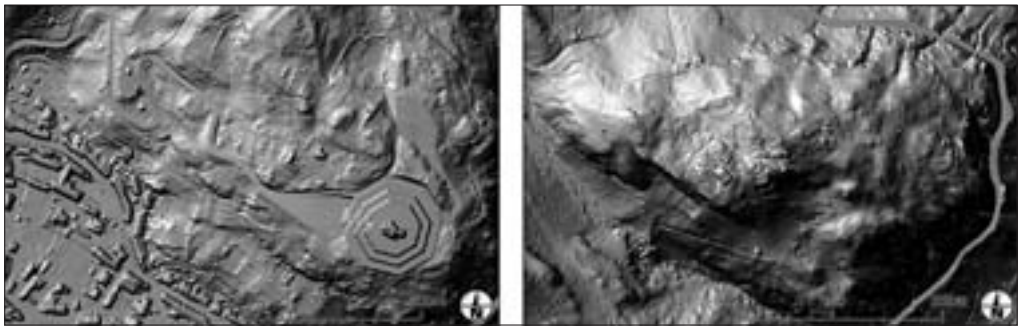


Slika 5: Geomorfološko izredno zanimivo območje med vasema Sedlo (levo zgoraj) in Homec (desno zgoraj).

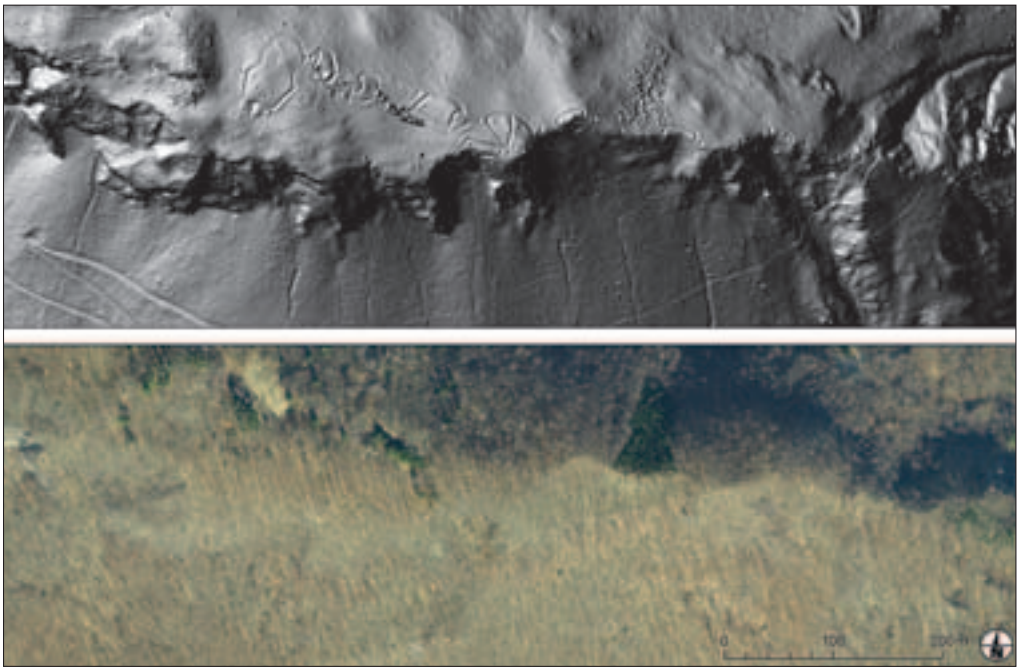
tudi napredujoča erozija. V zadnjega pol stoletja se je pokrajina v okolici Kobarida iz nekoč živo zelenih travnikov odela v temnejši plašč gozdov in grmičevja zato je bilo mnogo poti in teras opuščenih. Informacije, ki jih nudi lasersko skeniranje lahko prinesejo nove zamisli za nadaljevanje urejanja poti in območij za potrebe turizma, ob izkazanem povpraševanju tudi za ponovno oživitev najprimernejših kmetijskih zemljišč.

Po pomembnosti med arheološkimi najdišči na tem območju izstopata Gradič in Tonovcov grad (slika 6). Pri kartiranju obeh smo z lidarskimi podatki dodali novo vrednost že opravljenim raziskavam. Na lidarskem posnetku je zahodno od gradišča na Gradiču opazna terasa s sledovi prazgodovinskega svetišča, nad kostnico italijanskih vojakov pa se jasno vidi obseg nasipa, ki je nastal z izkopom pri njeni gradnji. S tem je bil v veliki meri uničen jugovzhodni del gradišča. Prazgodovinski okop je najbolje ohranjen v severnem delu, kjer se nakazuje tudi domnevna druga obrambna linija. Lidarski posnetek poznoantične naselbine Tonovcov grad dobro prikaže razgibano površino najdišča kot tudi njegovo okolico. Zelo dobro se vidijo še neraziskani deli naselbine (predvsem obrambni okop in zid na vzhodni strani), ter zid, ki je varoval predmestje na najbolj izpostavljeni zahodni strani.

Obrambni okopi so bili zelo značilni za bojevanje v prvi svetovni vojni. Na obravnavanem ozemlju jih je ohranjenih veliko, vendar v naravi nanje le redko naletimo saj so običajno zarasli z gostim gozdom in grmičevjem. Z lidarskimi podatki lahko natančno kartiramo celoten obrambni sistem, opuščene vojaške ceste in mulatiere (slika 7).



Slika 6: Arheološki najdišči Gradič (levo) in Tonovcov grad (desno).



Slika 7: Strelski jarki vrh Ozbena in poti, ki vodijo do njih (na vrhu), ter ortofoto posnetek (zgoraj).

4 Sklep

Podatki laserskega skeniranja so vir informacij, ki jih lahko izluščimo iz oblaka točk s primernimi algoritmi filtriranja in vizualizacije rezultatov. Digitalni model višin smo izdelali z metodo REIN *(repetitive interpolation)*, ki se od ostalih odlikuje zlasti po robustnosti in doseganju boljših rezultatov na gozdnatem strmem terenu. Za potrebe vizualizacije človeških posegov v prostor in delovanja naravnih sil, ki ga stalno preoblikujejo, smo preizkusili metodi bipolarnega diferenciranja in maksimalnega senčenja. Za obe se je izkazalo, da pomembno prispevata k berljivosti digitalnih modelov višin in zlasti v kombinaciji z običajnim senčenjem pripomoreta pri interpretaciji ostalin preteklosti. Prvič so postali vidni sistemi okopov in utrdb, ostanki prve svetovne vojne, ki so jih polni grebeni in pobočja okolice Kobarida. Natančno smo kartirali več že odkritih arheoloških najdišč, potencialne najdbe novih pa je potrebno še potrditi s terenskimi raziskavami. Lidarski podatki so primerni tudi za opazovanje geomorfoloških procesov, saj so elementi dobro vidni in jim je mogoče slediti pod gozdom, z izračuni razdalj, površin in volumnov ter primernimi metodami pa lahko ugotavljamo tudi njihov razvoj.

Opravljena študija je pokazala, da lasersko skeniranje prinaša revolucijo v opazovanje preteklih pokrajin pod gozdnim pokrovom. S primerno obdelavo – surovih – podatkov je mogoče odkriti podrobnosti, ki jih je celo s terenskim pregledom včasih nemogoče zaznati.

Zahvala

Projekt je financirala Fundacija Poti miru v Posočju. Raziskave so bile delno opravljene v okviru projekta Uporaba lidarskega daljinskega zaznavanja v preučevanju preteklih kulturnih pokrajin, ki ga financira Agencija za raziskovalno dejavnost RS. Obdelavo podatkov laserskega skeniranja je opravil Peter Ogrinc.

5 Viri in literatura

Baltsavias, E. P. 1999: A comparison between photogrammetry and laser scanning. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote sensing 54, 2–3.

Bewley, R. H., Crutchley, S. P. in. Shell, C. A. 2005: New light on an ancient landscape: lidar survey in the Stonehenge World Heritage site. Antiquity 79–305.

Ciglenečki, S. 2007: Arheološka najdišča v okolici Kobarida. September 2007. Osebna komunikacija.

Cimprič, Ž. 2007. Ostanki bojev prve svetovne vojne v okolici Kobarida. September 2007. Osebna komunikacija.

Challis, K. 2005: Airborne laser altimetry in alluviated landscapes. Archaeological Prospection 13-2.

Devereux, B. J., Amable, G. S., Crow, P. in Cliff, A. D. 2005: The potential of airborne lidar for detection of archaeological features under woodland canopies. Antiquity 79–305.

Hyyppä, J., Hyyppä, H., Litkey, P., Yu, X., Haggrén, H., Rönnholm, P., Pyysalo, U., Juho Pitkänen, J., Maltamo M. 2004: Algorithms and methods of airborne laser-scanning for forest measurements. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing 36, 8/W2. Freiburg.

Jacobsen, K., Lohmann, P. 2003: Segmented filtering of laser scanner DSMs. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing 34, 3/W13. Dresden.

Kershaw, A. 2002: Short report Hadrian's Wall National Mapping Programme – a World Heritage site from the air. Archaeological Prospection 10-2.

Kobler, A., Pfeifer, N., Ogrinc, P., Todorovski, L., Oštir, K., Džeroski, S. 2007: Repetitive interpolation: a robust algorithm for DTM generation from aerial laser scanner data in forested terrain. Remote Sensing of the Environment 108.

Komac, B., Zorn, M. 2007: Pobočni procesi in človek. Geografija Slovenije 15. Ljubljana.

Kraus, K., Pfeifer, N. 1998: Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 53.

Lohmann, P., Koch, A., Schaeffer, M. 2000: Approaches to the filtering of laser scanner data, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing 33, B3/1.

Nardinocchi, C., Forlani, G., Zingaretti, P. 2003: Classification and filtering of laser data. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing 34, 3W13. Dresden.

Podobnikar, T. 2005: Production of integrated digital terrain model from multiple datasets of different quality. International Journal of Geographical Information Science 19-1.

Sithole, G. 2005: Segmentation and classification of airborne laser scanner data, Dissertation, TU Delft, Publications on Geodesy of the Netherlands Commission of Geodesy 59.

Sithole, G., Vosselman, G. 2004: Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 59.

Wehr, A., Lohr, U. 1999: Airborne laser scanning – an introduction and overview. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54, 2–3.

3R-UPODOBITEV GORSKIH BOJIŠČ SOŠKE FRONTE

Matija Klanjšček, mag. Dalibor Radovan
Geodetski inštitut Slovenije
matija.klanjscek@geod-is.si, dalibor.radovan@geod-is.si

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

UDK: 528.7:355.422(234.323.6)
COBISS: 1.17

IZVLEČEK
3R-upodobitev gorskih bojišč soške fronte
V prispevku je predstavljena izvedba trirazsežne (3R) upodobitve dela Julijskih Alp, kjer so v prvi svetovni vojni, v letih 1915 do 1917, na soški fronti potekali srditi spopadi. Izpostavljen je prikaz visokogorskih bojišč, predvsem z vidika izredno težkega terena, prek katerega je potekala frontna črta vojskujočih strani. 3R-modeliranje je deloma temeljilo na razpoložljivih spletnih GIS-tehnologijah, ki ponujajo celovito osnovo in možnost nadgradnje z lastnimi vsebinami. Vključitev le-teh je bila izvedena na osnovi programskega jezika KML (standard XML), ki je namenjen upravljanju spletnih prikazov 3R-prostorskih podatkov v okoljih Google Maps in Google Earth. Celotna 3R-upodobitev je bila izvedena v obliki filmov oziroma preletov, z dodanimi različnimi tematskimi vsebinami.

KLJUČNE BESEDE
3R-upodobitev, soška fronta, spletni GIS, Google Earth, KML

ABSTRACT
3D-visualization of the mountain battlefield on the Soča front line
3D-visualization of the part of the Julian Alps with the emphasis on the Soča valley with high mountains above it, is presented. In the years between 1915 and 1917 there were wrathful clashes of arms between two major alliances, the Entente and the Central Powers. 3D-modelling of a high mountain terrain where the front line of the two armies was settled during these years, is put out. 3D-modelling was partly done by web GIS applications using the XML-based KML language, which is the standard for managing the display of 3D geospatial data in Google Maps and Google Earth. The 3D-visualization was finally done in a form of video files, presenting virtual flying over the terrain covered with different thematic data.

KEY WORDS
3D-visualization, Soča front line, web GIS, Google Earth, KML

1 Uvod

Soška fronta predstavlja del bojišča, ki je v prvi svetovni vojni potekalo v dolžini dobrih 90 km od Rombona na severu do Tržaškega zaliva na jugu. Na bojišču sta se v dolgih, izčrpavajočih bitkah od junija leta 1915 pa vse do oktobra 1917 spopadali vojski kraljevine Italije (bojevala se je na strani antante) in Avstro-Ogrske monarhije (centralne sile). Fronta je bila prizorišče enega večjih spopadov na gorskem območju v zgodovini človeštva in največji spopad na slovenskem ozemlju sploh. Na strani Avstro-Ogrske so se bojevali skoraj vsi narodi te monarhije: Nemci, Madžari, Italijani, Slovenci, Hrvatje, Srbi, Bošnjaki, Čehi in drugi. V spopadih je umrlo tisoče slovenskih vojakov, zaradi česar je še danes globoko ukoreninjena v slovensko zgodovino (medmrežje 1).

Fronta je potekala v visokogorskem svetu zahodne Slovenije, v dolini reke Soče in na kraških planotah. Zaradi neugodnega terena in vremenskih razmer je bil severni, visokogorski del fronte, najzahtevnejši za bojevanje. Prav raznolikost in težavnost terena predstavlja danes, dobrih 90 let po koncu morije čisto drugačen motiv za ponovno obujanje in prikazovanje dogodkov krute zgodovine. Tokrat z vidika plastične 3R-upodobitve območij, kjer so se nekoč v, celo za vsega hudega vajene vojake, nevzdržnih razmerah odvijale strašne tragedije, danes pa zgolj številne ostaline nemo opominjajo na nesmiselno prisotnost in aktivnost človeka na tem področju.

Celotna izdelava 3R-upodobitve gorskih bojišč soške fronte je potekala v okviru ciljnega raziskovalnega programa (CRP) »Znanje za varnost in mir 2006–2010«, znotraj projekta »Za svobodo domovine, vojna v Julijcih 1915–1917« (področje »Razvoj in upravljanje nacionalno varnostnega sistema«), katerega nosilna raziskovalna organizacija je bil Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti. Namen celotnega projekta je bila celostna in interdisciplinarna predstavitev zgornjega Posočja, z vidika geostrateške, geološke in arheološke utemeljitve zgodovinskih dogajanj na tem območju. 3R-upodobitev morfološko zelo razgibanega in zanimivega terena je namenjena širšemu krogu zainteresirane javnosti, predvsem kot večpredstavnostno dopolnilo muzejskim zbirkam.

2 Območja posameznih prikazov

Izbrani sta bili dve ravni podrobnosti prikaza, in sicer pregledna 3R-upodobitev celotnega območja soške fronte ter podrobnejše 3R-upodobitve treh lokalnih območij visokogorskih bojišč in neposrednega zaledja. Celotno območje soške fronte in zaledja obeh vojskujočih strani, ki je bilo vključeno v pregledni 3R-model, obsega dobrih 3500 km^2 površine današnje zahodne Slovenije in dela sosednje Italije, vse od vključno Rezijanske doline in Kaninskega pogorja na severozahodu do Vipavske doline in masiva Nanosa na jugovzhodu (slika 1). Osnovni namen je bil prikaz razgibanosti terena, prek katerega je potekala celotna frontna črta, s poudarkom na geomorfoloških značilnostih visokogorskega sveta, kjer so potekali najtežji spopadi.

Podrobnejši 3R-modeli vključujejo tri lokalna območja, in sicer območje Krna (2244 m) in Batognice (2164 m), površine 20 km^2, območje Mrzlega vrha (1359 m), površine 12 km^2, ter območje Kolovrata z vrhovi Hleviščе (775 m), Kuk (1243 m), Nagnoj (1193 m), Na gradu (1115 m) in Hlevnik (886 m), s površino 40 km^2. Izbor lokalnih območij za izdelavo podrobnejših 3R-modelov je bil izveden predvsem z vidika raznolikosti terena in pomembnosti posameznih gorskih območij, ki so vsa predstavljala ključne strateške točke v celotnem obdobju trajanja spopadov na tem delu soške fronte. Predvsem na relativno majhnem območju Krna in Mrzlega vrha, kjer sta frontni črti obeh vojskujočih strani dosegli najbližja stičišča, so se odvijali siloviti spopadi in skozi številne ofenzive pridobljeno ali izgubljeno ozemlje je bilo merjeno praktično v metrih. Ker gre v primeru preglednega 3R-modela celotnega območja soške fronte za zelo veliko in razgibano območje, 3R-modeli treh lokalnih območij pa so relativno majhni, sta bila nivoja podrobnosti prikazov seveda različna. Temu primerno so bile uporabljene tudi tehnike modeliranja, podatkovni sloji in programska orodja.

3 Načini 3R-upodobitve

V postopku 3R-modeliranja so bile uporabljene različne programske rešitve, večinoma v odvisnosti od velikosti območja prikaza ter želene podrobnosti geomorfologije terena in prikazanih tematskih vsebin. Osnovno delitev je predstavljal različen nivo podrobnosti za primere pregledne 3R-upodobitve celotnega območja oziroma detajlne 3R-upodobitve treh lokalnih območij. Za pregledno upodobitev je bilo uporabljeno razširjeno orodje Google Earth. Google Earth združuje lastnosti Googlovega iskalnika z uporabo satelitskih posnetkov in zemljevidov, s 3R-prikazom terena in objektov, omogoča enostavno pregledovanje prostorskih podatkov, ter uporabniku hitro in učinkovito približa geografske informacije svetovnega obsega (medmrežje 2). Omogoča možnost dodajanja in vrisovanja lastnih tematskih vsebin, od vektorskih prostorskih podatkov do fotografij, besedilnih opisov in zunanjih povezav. Možno je pregledno združevanje podatkov v sloje, pomikanje po modelu in podobno. Funkcionalnost orodja se precej izboljša z nakupom licence za profesionalno različico, ki uporabniku ponuja številne dodatne možnosti, kot so uporaba oziroma uvoz lastnih geolociranih rastrskih slojev in drugih prostorskih podatkov, razne prostorske analize, izdelava slik visoke ločljivosti in snemanje filmov.

Izgradnja enostavnih prostorskih modelov v okolju Google Earth poteka prek uporabniškega vmesnika, za dodajanje zahtevnejših vsebin pa je potrebna izdelava lastne programske kode na osnovi programskega jezika KML (Keyhole Markup Language). KML je programski jezik, ki temelji na jeziku oziroma standardu XML (eXtensible Markup Language) in je namenjen upravljanju spletnih prikazov 3R-prostorskih podatkov v okoljih programov Google Maps in Google Earth. Poleg obeh programov, KML podpirajo tudi številni standardni programi, kot so ESRI ArcGIS Explorer, AutoCAD, Adobe PhotoShop, NASA WorldWind in drugi (medmrežje 3).

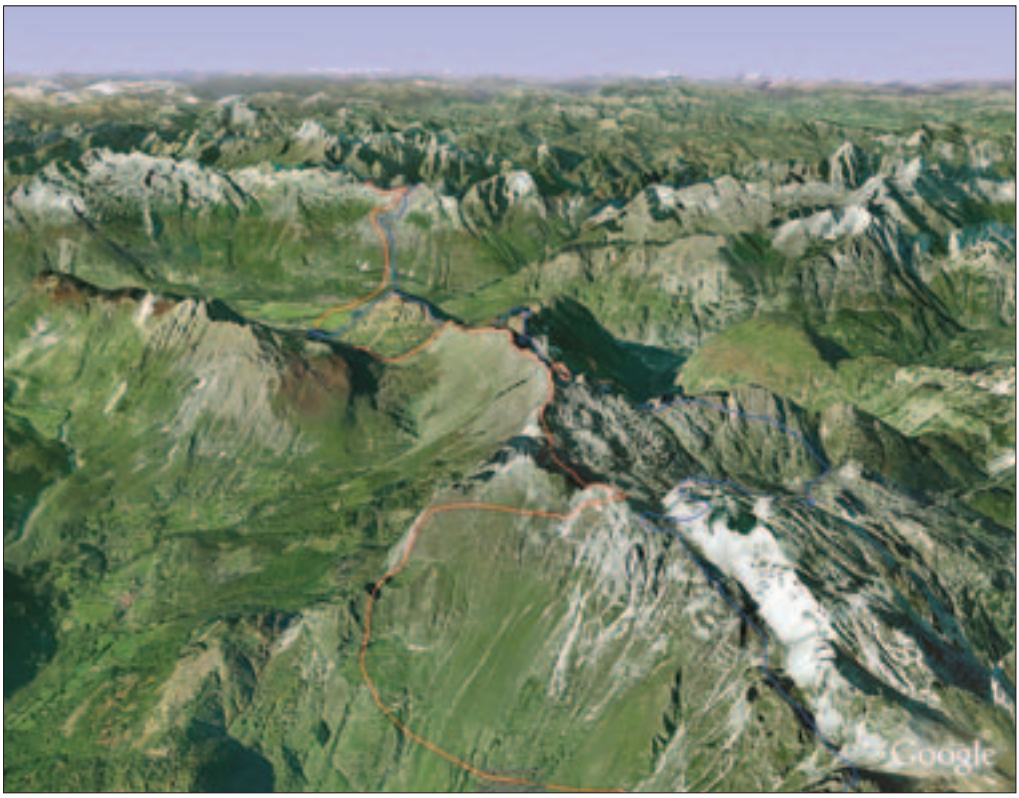
Za izdelavo podrobnih 3R-modelov podatki v Google Earth-u niso bili primerni. Glavni razlog je v slabši natančnosti modela reliefa, ki pri podrobnejšem merilu prikaza ne izraža več pravilne geomorfologije terena oziroma ne omogoča prikaza dovolj podrobnih značilnosti zemeljskega površja. Google

Slika 1: Prikaz preglednega območja s potekom frontne črte Italije (rdeča barva) in Avstro-Ogrske modra barva), ter treh lokalnih območij izdelanih 3R-modelov (vir: DPK 1000, Geodetska uprava Republike Slovenije).

Earth uporablja globalni višinski model ločljivosti 90 m (na ekvatorju) na osnovi NASA digitalnih podatkov o višinah, SRTM 90 m (Shuttle Radar Topographic Mission 90 m Digital Elevation Data). Omenjeni višinski model naj bi zagotavljal podatke o višinah z natančnostjo le do 16 m (medmrežje 4), kar pa za podrobnejše 3R-modeliranje manjših območij ne zadošča. Prav tako so se pojavile težave pri nekaterih satelitskih posnetkih, vključenih v Google Earth, ki zaradi prisotnosti oblačnosti v času snemanja ne prikazujejo želenega območja v celoti. Zato so bili za izdelavo podrobnih 3R-modelov uporabljeni podatki Geodetske uprave RS (DOF 5, Insar DMR 25 m in DMR 12,5 m) ter druga namizna orodja, namenjena 3R-modeliranju (3D Studio MAX, AutoCAD).

4 Vsebina posameznih prikazov

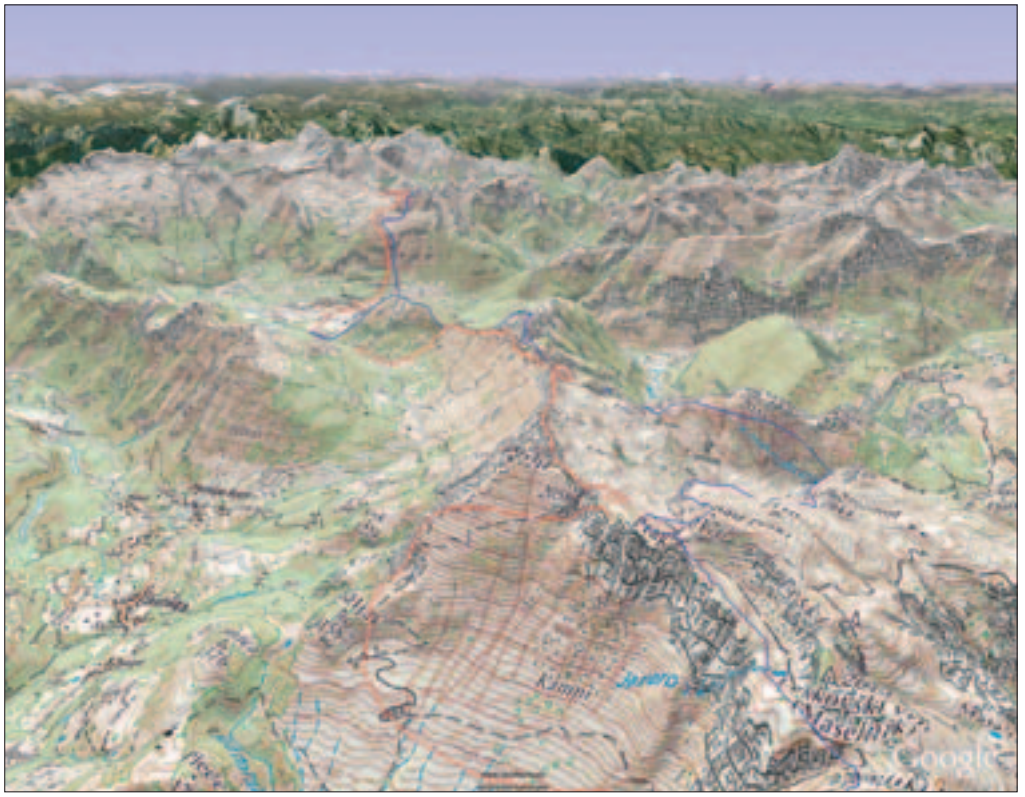
Kot že omenjeno, se oba nivoja 3R-modelov razlikujeta predvsem v osnovnih podatkih, uporabljenih za prikaz površja. V preglednem 3R-modelu celotnega območja soške fronte so bili uporabljeni zadnji razpoložljivi satelitski posnetki, ki jih ponuja Google Earth, in sicer CNES/Spot Image, Image DigitalGlobe in Image TerraMetrics, ter v Google Earth vključen model reliefa SRTM 90 m. Pri izdelavi podrobnejših 3R-modelov so bili uporabljeni listi DOF 5 (digitalni ortofoto 1 : 5000 z ločljivostjo 0,5 m), izdelani na osnovi zadnjega aerosnemanja Slovenije (avgust 2006), ter modela reliefa Insar DMR 25 m in DMR 12,5 m. Tematska vsebina, vključena v posamezne 3R-modele, je enaka tako v primeru



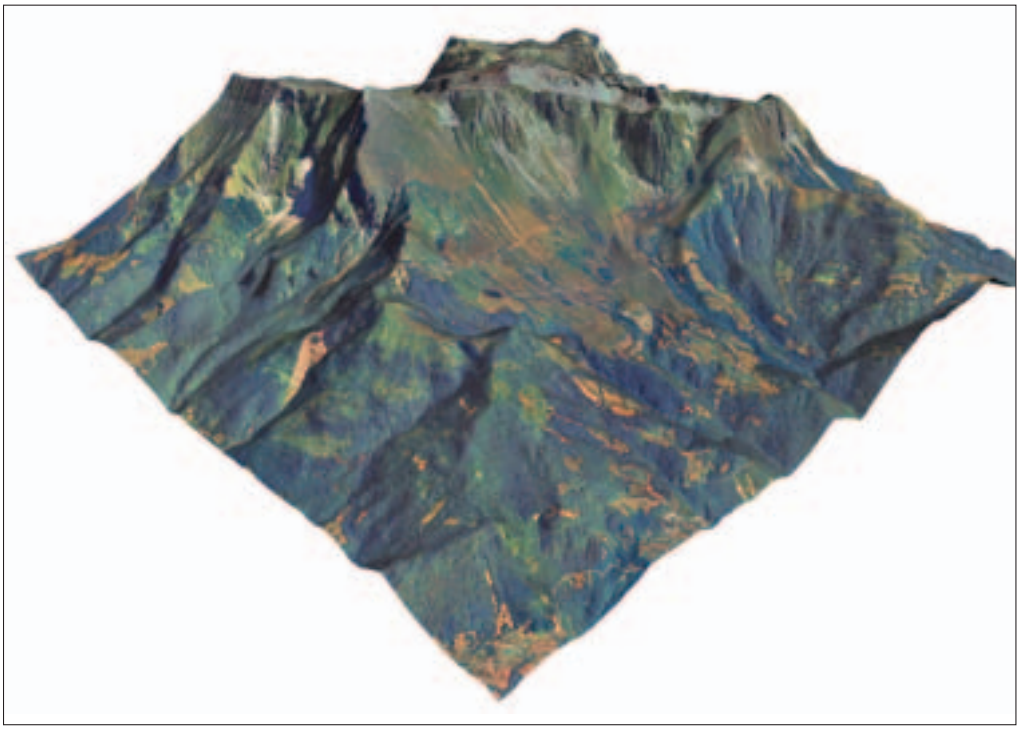
Slika 2: Perspektiven pogled v preglednem 3R-modelu s potekom frontne črte Italije (rdeča barva) in Avstro-Ogrske (modra barva), osnova satelitski posnetek, dvignjen na model reliefa.

preglednega modela celotnega območja, kakor v primeru podrobnejših 3R-modelov lokalnih območij, razlikuje se zgolj v stopnji podrobnosti prikaza ter v dodajanju oziroma izpuščanju nekaterih vsebin v podrobnejšem oziroma preglednem modelu (različna stopnja generalizacije vsebin). V pregledni model so vključeni osnovni topografski podatki, kot so imena naselij in vrhov, današnja državna meja med Slovenijo in Italijo, ter potek frontne črte obeh vojskujočih strani v času po koncu 11. ofenzive oziroma pred prebojem soške fronte (oktober 1917). V preglednem modelu so vključeni tudi 3R-kartografski prikazi z uporabo izsekov DPK 250 (Državna pregledna karta 1 : 250.000) in DTK 50 (Državna topografska karta 1 : 50.000), v kombinaciji z modelom višin SRTM 90 m. Karta DTK 50 je bila za potrebe tega projekta na obravnavanem območju dopolnjena s poudarjenim senčenjem reliefa, kar je v kombinaciji z modelom reliefa omogočalo še bolj plastično 3R-upodobitev terena.

V podrobnih 3R-modelih lokalnih območij Krna z Batognico, Mrzlega vrha in Kolovrata, so bile dodane podrobnejše vsebine. Fontna črta je bila prikazana s povečano podrobnostjo, posebej so bili upodobljeni strelski jarki, vključeni so bili glavni vojaški objekti (območja vojaške poselitve) in glavna transportna infrastruktura (oskrbovalne poti – mulatiere, tovorne žičnice). Podrobnejšemu merilu ustrezno so bila dodana zemljepisna imena manjših vrhov, prelazov, višinskih kot. Vse to je tvorilo celotno vsebino, ki je bila osnova za dinamično upodobitev posameznih območij oziroma izdelavo filmov na podlagi različnih preletov terena. V posameznih modelih so bile v končen izdelek (film) z montažo dodane še druge vsebine, kot so fotografije, skenogrami načrtov, skic, vojaških kart in podobno.



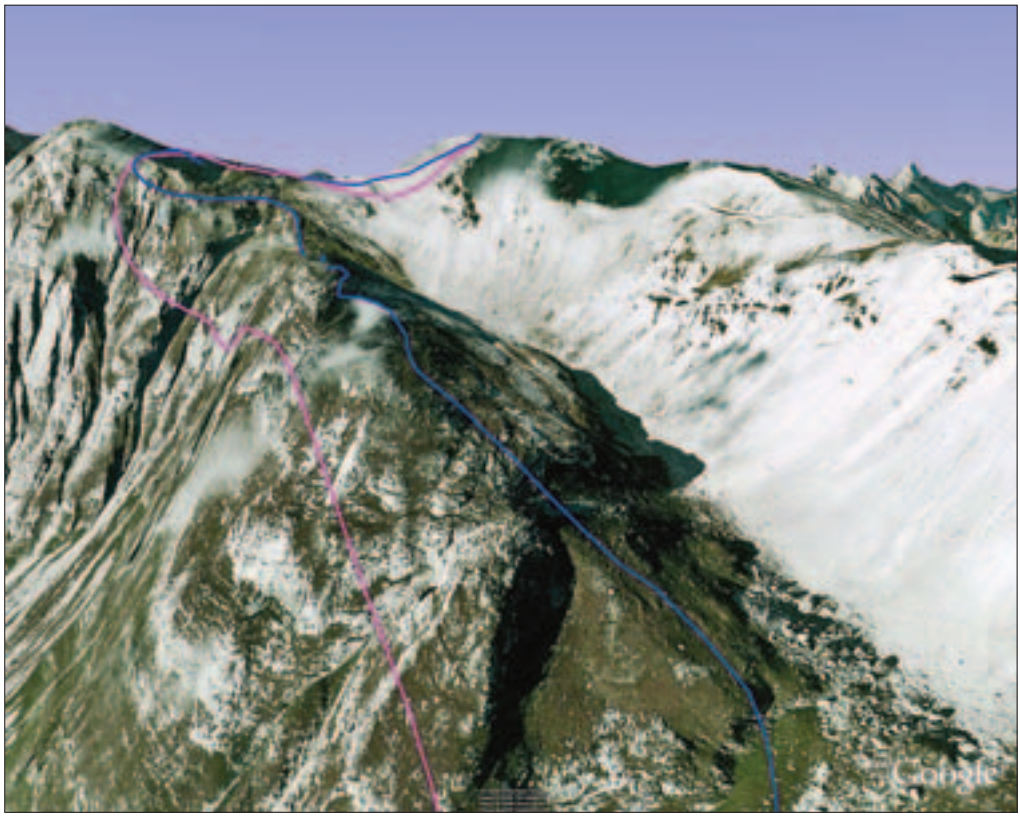
Slika 3: Perspektiven pogled v preglednem 3R-modelu s potekom frontne črte Italije (rdeča barva) in Avstro-Ogrske (modra barva), osnova dopolnjena karta DTK 50, dvignjena na model reliefa.



Slika 4: Oddaljen perspektiven pogled v podrobnem 3R-modelu, osnova DOF 5, dvignjen na model reliefa.

5 Priprava in obdelava podatkov

Osnova za izgradnjo 3R-modelov je bil predhodno sestavljen objektni katalog. Vse na ta način definirane objekte, predvidene za vključitev v posamezne 3R-modele, je bilo treba ustrezno pripraviti oziroma nekatere na novo zajeti. Določeno je bilo območje preglednega prikaza in lokalna območja podrobnejših prikazov, ter za slednje izbrani ustrezni listi DOF 5 in Insar DMR. Vektorski podatki, ki so bili uporabljeni v preglednem modelu v programu Google Earth, so bili zajeti na osnovi različnih virov (Simić 1996). Osnovni podatki, to je linijski sloj poteka frontne črte, so bili vektorizirani in obdelani (glajenje linij) na podlagi osnovnih kartografskih in dopolnilnih pisnih virov v ločenem programskem okolju (ArcGIS), in sicer v državnem koordinatnem sistemu (ravninske koordinate, Gauss-Krügerjeva projekcija na Besslovem elipsoidu). Zajeti so bili za raven natančnosti 1 : 50.000 (merilo osnovnega kartografskega vira). Vsi objekti so bili nato transformirani v svetovni koordinatni sistem (elipsoidne koordinate na elipsoidu WGS84) in zapisani v obliki KML datotek, ki so primerne za neposreden vnos v Google Earth. Prav tako so bili transformirani vsi rastrski sloji (DPK 250 in DTK 50), ki so bili zaradi programske omejitve Google Earth-a in uporabljene strojne opreme (grafična kartica) razrezani na liste največjih dimenzij 4096 × 4096 pikslov. Vsi ti posamezni listi so bili geolocirani oziroma zapisani v formatu GeoTiff in nato uvoženi v programsko okolje Google Earth kot ločen rastrski sloj. Točkovna sloja imen naselij in vrhov sta bila zajeta neposredno v programu Google Earth, s kombinacijo 2R- in 3R-pogleda ter uporabo satelitskih posnetkov in predhodno v model pripeljanega rastrskega sloja pregledne oziroma topografskih kart.



Slika 5: Primer napačne geomorfologije modela reliefa v programskem okolju Google Earth (linija vijoličaste barve prikazuje položajno pravilen potek, linija modre barve pa geomorfološko pravilen potek frontne črte).

Po uvozu linijskega sloja frontnih črt v Google Earth je bilo treba dodatno urejanje podatkov. Zaradi prej omenjenega vira višin oziroma v Google Earth-u uporabjenega višinskega modela SRTM 90 m je namreč prihajalo do lokalnih neskladij med dejansko točnim potekom frontne črte in geomorfološko upodobitvijo le-te v 3R-modelu. Na primer: frontna črta, ki je v naravi potekala po izrazitem grebenu in je bila na ta način tudi zajeta iz natančnejšega kartografskega vira (skladno s prikazom terena na karti), se v 3R-prikazu v programu Google Earth zaradi nenatančnosti modela reliefa ni ujemala z morfologijo terena. To pomeni, da je, čeprav položajno točen potek linije (linija vijoličaste barve na sliki 5), v 3R-pogledu dajal napačen vtis oziroma potekal po pobočju ali v steni nekega visokogorskega grebena (linija modre barve na sliki 5 predstavlja geomorfološko pravilen potek). Najpogosteje se je to dogajalo prav na območju daljših, ostrih grebenov, kjer so v naravi na majhnem območju prisotne velike višinske razlike. Edini način za odpravo tega neskladja je bilo urejanje poteka linij v 3R-pogledu v programu Google Earth. Sprva navidez zamudno opravilo se je zaradi enostavnega in hitrega delovanja programa izkazalo kot manj zahteven, a vseeno obsežen zalogaj. Pri tovrstni obdelavi podatkov je bilo odločilnega pomena poznavanje terena, predvsem pa sposobnost zaznavanja 3R-prostora in same orientacije v prostoru.

Priprava in obdelava podatkov za podrobnejše 3R-modele je potekala nekoliko drugače. Interpretator je poteke frontnih črt, strelskih jarkov in lokacijo drugih objektov vrisal na TTN 5/10 (Temeljni

topografski načrt merila 1 : 5000 oziroma 1 : 10.000) in DOF 5, predvsem na osnovi dobrega poznavanja zgodovine, poznavanja lokalnega območja in deloma na podlagi terenskega preverjanja. Nekatere vsebine so bile narisane tudi na perspektivnih fotografijah terena (predvsem stare vojaške fotografije) ter za tem ročno prenešene na geolocirane podlage. Vsi ti delovni izrisi so bili nato vektorizirani oziroma objekti zajeti za nivo natančnosti med 1 : 5000 in 1 : 10.000 (merilo virov za zajem). Transformacija podatkov ni bila potrebna, saj so bili zajeti v državnem koordinatnem sistemu, v katerem je potekala tudi izgradnja posameznih 3R-modelov. Točkovni sloji imen naselij, vrhov, prelazov in višinskih kot, so bili pridobljeni deloma na osnovi REZI 5 (Register zemljepisnih imen merila 1 : 5000) in deloma s ponovno vektorizacijo.

Vsi na ta način pripravljeni in obdelani podatki so tako tvorili glede na objektni katalog vsebinsko popolne 3R-modele, ki so bili osnova za izdelavo končne 3R-upodobitve oziroma izdelavo filmov preglednega in posameznih lokalnih območij.

6 Končni izdelek

Pred izdelavo vsakega filma, ki je vključeval posameznega od štirih 3R-modelov, je bil predhodno izdelan scenarij. Scenarij je definiral zaporedje kadrov oziroma posamezne sekvence, ki so bile nato vključene v končno montažo. Definirana je bila virtualna pot kamere, njena hitrost, višina in naklon napram terenu. Posnetih je bilo več sekvenc, kot pa jih je bilo vključenih v končno montažo, kar je omogočalo sprotno odločanje glede dokončne vsebine in izgleda filma. V montažo preglednega filma so bile vključene sekvence, posnete na različnih osnovah in z različnimi tematskimi vsebinami (z uporabo satelitskih posnetkov in z uporabo topografskih kart). Scenarij je predvidel tudi druge v filme vključene vsebine, kot so fotografije, različni tematski skenogrami, pojasnevalni tekst in glasba.

Tako izdelani filmi so bili vključeni v celostno podobo končnega izdelka, ki je bila zasnovana na principu lokalno delujoče spletne strani, vzpostavljene na prenosnem mediju oziroma DVD-ju. Spletna stran predstavlja uporabniku okolje za pregleden dostop do posameznih filmov (prek menijskega izbora), z vključenimi dodatnimi pojasnili, ki se nanašajo na kratek oris projekta oziroma nastanka izdelka, opis obravnavanega območja, zgodovinsko ozadje celotne tematike in podrobneje zgodovinsko ozadje dogajanj na obravnavanih treh lokalnih območjih.

7 Sklep

V času do nastanka tega prispevka so bile izvedene do sedaj opisane faze. Eden pomembnejših vmesnih rezultatov projekta je bilo predvsem prvič (na tako podrobnem nivoju) izvedeno namensko kartiranje poznanih položajev posameznih vojskujočih strani. Vsebinsko je bila 3R-upodobitev izvedena v obliki preglednega filma in treh podrobnejših filmov (lokalna območja Krna z Batognico, Mrzlega vrha in Kolovrata) z ustreznimi tematskimi vsebinami (preleti terena). Uporabljena tehnologija se je izkazala kot zelo praktična in relativno enostavna, predvsem z vidika že zagotovljenega delovnega okolja (na primeru Google Earth-a), ki zahteva zgolj dodajanje lastnih vsebin. Nadaljni potek del predvideva še nadgradnjo že zgrajenih 3R-modelov z interaktivnostjo vsebin, ki bodo uporabniku dostopne prek spleta, predvidoma z uporabo že omenjene Googlove spletne tehnologije. Na ta način bi lahko vsak uporabnik poljubno pregledoval izdelane 3R-modele, z možnostjo navigacije po modelu ter možnostjo izbire različnih tematskih vsebin po principu vklopa/izklopa posameznih slojev.

Čeprav prostorska upodobitev območja, kjer so se nekdaj odvijale vojne grozote, morda ne pomeni specifične zgodovinsko-kritične obravnave tematike, je prav gotovo neke vrste spomin in opomin za vse nas, ki po teh gorskih poteh in brezpotjih hodimo danes. Tudi tovrstna »dediščina« ne sme iti v pozabo, kakor ne smemo brezglavo uničevati in odnašati že tako vedno manj vidnih sledov prve sve-

tovne morije. In če si za konec sposodim še stavek avtorja knjige Po sledeh soške fronte: »… *Mislim, da je najhuje, kar se mrtvemu vojaku lahko še zgodi, da ga oropamo imena; tako njegova smrt izgubi še zadnji smisel, da vsaj z imenom na grobu opozarja na nesmiselnost vojne* …« (Simić 1996, 7).

8 Viri in literatura

Simić, M. 1996: Po sledeh soške fronte. Ljubljana.
Medmrežje 1: http://sl.wikipedia.org (4. 3. 2008).
Medmrežje 2: http://earth.google.com (4. 3. 2008).
Medmrežje 3: http://code.google.com/apis/kml/documentation (5. 3. 2008).
Medmrežje 4: http://srtm.csi.cgiar.org (5. 3. 2008).

VLOGA KULTURNE DEDIŠČINE PRI TRAJNOSTNEM RAZVOJU VAROVANIH OBMOČIJ NA PRIMERU ARHEOLOŠKE DEDIŠČINE V KAMNIŠKO-SAVINJSKIH ALPAH

dr. Benjamin Štular
Inštitut za arheologijo ZRC SAZU
bstular@zrc-sazu.si

UDK: 902.2:659.2:004
COBISS: 1.16

IZVLEČEK

Vloga kulturne dediščine pri trajnostnem razvoju varovanih območij na primeru arheološke dediščine v Kamniško-Savinjskih Alpah

V izbranem študijskem primeru smo obravnavali vlogo kulturne dediščine pri trajnostnem razvoju varovanih območij. Z uporabo GIS orodij smo iskali možne turistične izdelke, ki bi temeljili na kulturni dediščini. Pri tem smo upoštevali omejevalne dejavnike in na drugi strani iskali spodbujevalne dejavnike, predvsem zahteve sodobne turistične industrije. Rezultat prvega modela je bilo manjše število morebitnih turističnih izdelkov na neprimernih lokacijah. Zato smo v nadaljevanju poiskali dodaten turistični potencial študijskega območja. Omenjenim omejevalnim in spodbujevalnim dejavnikom odlično ustreza koncept revitalizacije planin z arheološko preteklostjo. Izdelali smo napovedovalni model za to vrsto arheoloških najdišč. V napovedni model smo vključili najnovejša odkritja arheološke stroke in preizkušena GIS orodja. Rezultat so tri predlagane lokacije, ki v celoti premoščajo vse prepoznane slabosti trenutnega stanja. S to arheološko raziskavo smo dobili rezultat, ki je neposredno uporaben za izdelavo tržno naravnanih turističnih izdelkov, ki so skladni z načeli trajnostnega razvoja.

KLJUČNE BESEDE
upravljanje s kulturno dediščino, napovedovalni model, arheologija, geografski informacijski sistem

ABSTRACT

The role of cultural heritage in the long-term development of protected areas: the example of archaeological heritage in the Kamnik-Savinja Alps

In the chosen case study we have dealt with the role of cultural heritage within the long-term development of protected areas. With the help of GIS tools we looked for the possible tourist products that would be based on cultural heritage. At this we took into account the limiting factors imposed by environmental and heritage protection as well as sought for stimulating factors that would meet the demands of the contemporary tourist industry. The result of the first model was a small number of potential tourist products in inappropriate locations. In the continuation we thus searched for additional tourist potential of the study area. The aforementioned limiting and stimulating factors are completely in line with the concept of revitalising the highlands with the potential archaeological past. Therefore, we have come up with a prediction model for this type of archaeological sites. We have included the newest discoveries in the archaeological field as well as the well established GIS tools, foremost the prediction model. Based on that model we proposed three locations that completely overcome all of the recognised weaknesses of the current situation. With this archaeological research we have therefore achieved a result that is directly applicable for the production of market oriented products that are in accordance to the principles of long-term development.

KEY WORDS
cultural heritage management, predictive modeling, archaeology, geographical information system

1 Uvod

Prispevek je nastal kot del ciljnega raziskovalnega projekta »Trajnostni razvoj varovanih območij – celostni pristop in aktivna vloga države (Trajnostno gospodarjenje v varovanih območjih z vidika doseganja skladnejšega regionalnega razvoja)«. V projektni skupini Inštituta za Arheologijo ZRC SAZU smo preučili vlogo kulturne dediščine pri trajnostnem razvoju varovanih območij na primeru regijskega parka Kamniško-Savinjske Alpe v ustanavljanju. Prvotno načrtovano strokovno analizo povzemamo v drugem poglavju. Vendar smo to zaradi slabih rezultatov nadgradili z arheološko znanstveno raziskavo, ki je prikazana v tretjem poglavju. V četrtem poglavju smo opisali ekonomski potencial predlaganih turističnih izdelkov.

Kot značilne oblike površja v Kamniško Savinjskih Alpah prevladujejo globoko vrezane doline, pobočja gorskih skupin in uravnane ter večinoma zakrasele planote. Naštete prvine površja so bile v tradicionalni kulturni pokrajini tesno povezane z rabo tal. Tako so njive in travniki pogostejši v položnem svetu, prve največkrat na prisojnih in drugi na osojnih delih. Pašniki in gozdovi pa so odrinjeni v pobočja. Kamnine imajo na razporeditev kmetijskih zemljišč posreden vpliv, saj je od matične podlage odvisen relief. V modernem kmetovanju so vse pomembnejša tudi območja z omejitvenimi dejavniki za kmetijsko pridelavo, ki so osnova za določanje višin kmetijskih subvencij (Petek 2005, 36; glej tam navedeno literaturo).

Izbrano območje ima obseg približno 81 km in površino približno 190 km^2. S povprečnim naklonom 32° je strmejše od na primer Soških Julijskih Alp (prim. Petek 2005, 39–40). Povprečna nadmorska višina slovenskega alpskega sveta je 1064 metrov, višina študijskega območja pa 1362 metrov. Gre torej za nadpovprečno visok gorski svet. Število frekvenc za vsak višinski meter površja slovenskega alpskega sveta med drugim kaže tudi na dokaj enakomerno razporeditev površine površja v nadmorskih višinah med 650 in 1250 metrov. Poleg velikih planot v Julijskih Alpah v ta višinski pas sodi tudi obsežno območje samotnih kmetij v Savinjskih Alpah na severovzhodu študijskega območja. Najvišje kmetijske površine so planine v pasu med 1550 in 1850 metrov nadmorske višine, kjer so povprečni nakloni površja med 31° in 33° (prim. Petek 2005, 36–38 in 40).

V ta na prvi pogled negostoljuben gorski svet Kamniško-Savinjskih Alp ljudje zahajajo že od davnine, kar kažejo številne arheološke najdbe (Horvat 2006). Dandanes je to območje zanimivo predvsem za – bolj ali manj – sonaravno kmetijstvo in različne oblike turizma.

Slednje je še vedno edini preizkušeno uspešen način ekonomske uporabe kulturne dediščine (npr. Breznik 2006, 165–167). Spomeniki kulturne dediščine lahko zadovoljujejo različne namene, zaradi katerih jih ljudje obiskujejo. Razlagajo preteklost, delovanje ljudi v povezavi s predmeti, stavbami in pokrajino, ali pa kažejo spremembe, ki jih je prinesel čas, zadovoljujejo željo po doživetjih, odkrivanju ter spoznavanju novega in razumevanju starega. Na tej dediščini lahko temeljijo različni turistični izdelki. Najenostavnejše in hkrati najpogostejše oblike, ki bi jih lahko uporabili na obravnavanem območju, so pojasnilne table, kulturne poti in muzeji na prostem.

2 Analiza stanja in možnosti

Najprej smo analizirali obstoječe stanje turistične ponudbe, pri čemer smo iskali predvsem možne povezave s kulturno dediščino. Pri tem smo se zanašali na podatke, ki jih prek reklamnega gradiva in spleta posredujejo upravitelji posameznih turističnih centrov ali objektov. Na ta način zbrani podatki seveda niso natančni, saj so lahko zastareli, tendenciozni in predvsem pomanjkljivi. Tako na primer pričakujemo, da nismo zajeli ponudbe manjših turističnih objektov v lasti posameznikov. Vendar metoda ustreza potrebam, saj so na tem mestu pomembni le podatki o prevladujočih trendih (preglednica 1).

Analiza je pokazala, da obstoječa organizirana ponudba temelji na štirih turističnih središčih, ki ležijo na robu izbranega območja (slika 1). To so Jezersko, Krvavec, Velika planina in Logarska dolina. Ti centri se razlikujejo tako v zgodovini nastanka in razvoja, lastništvu, organiziranosti, ekonomski moči

Preglednica 1: Preglednica osnovnih podatkov o rabi kulturne dediščine kot turističnih izdelkov v turističnih središčih (opisi, ki se nanašajo na denarna sredstva, so ocenjeni približno; pojem majhno uporabljamo za ocenjene vsote nekaj 1.000 EUR letno, srednji za vsote nekaj 10.000 EUR letno in velik za vsote 100.000 EUR in več letno).

	zgodovina	lastništvo	uspešnost	razvoj	investicijski potencial	posebnosti	viri
Jezersko	manjši turističen objekt s tradicijo	> 10 manjših lastnikov (s. p., turistično društvo, TIC)	ni uradnih podatkov, poizvedbe na terenu kažejo majhen dobiček posameznih lastnikov	ni jasne razvojne vizije, poskusi posameznikov	majhen	izrazit upad po propadu zimskega turizma	http://www.jezersko.si
Krvavec	velik turistični objekt brez tradicije (smučarsko središče)	1 velik lastnik (d. d.) ter > 10 manjših (s. p., pašna skupnost z desetinami lastnikov)	velik dobiček	načrten, velike investicije	velik	izrazita usmeritev v zimsko sezono, širjenje poletne ponudbe	http://www.rtc-krvavec.si
Velika planina	veliki turistični objekt s tradicijo	1 velik lastnik (d. d.) ter > 10 manjših (s. p. ipd.)	nimamo podatkov	konsolidacija obstoječe ponudbe	srednji	tradicija trajnostnega trženja kulturne dediščine	http://www.velikaplanina.si; http://odmev.zrc-sazu.si/planina/
Logarska dolina	srednji turistični objekt brez tradicije	d. o. o.	srednji dobiček	konsolidacija obstoječe ponudbe	majhen	samoorganizacija posameznikov po načelu zadruge	http://www.logarska-dolina.si

in posledično zmožnosti investiranja, poslovni uspešnosti ter poslovnih načrtih. Le turistični center na Krvavcu je sposoben večjih investicij v razvoj. Centra Logarska dolina in Velika planina kulturno dediščino v največji možni meri že izkoriščata. Za Jezersko se zdi, da je v slepi ulici. Turistični razvoj Krvavec lahko uvrstimo v stopnjo (model) pospešenega turističnega razvoja, Logarsko dolino in Veliko Planino na stopnjo konsolidacije, Jezersko pa v stopnjo zmanjšanja ali celo močnega zmanjšanja turističnega prometa (prim. Horvat 2000; slika 1).

Kaže, da je (Krvavec) oziroma je bila (Velika planina, Logarska dolina) kulturna dediščina edina možna pot za konsolidacijo nešportnega turističnega središča v gorskem svetu.

Hkrati je razvidno, da se našteta turistična središča večinoma nahajajo na robu varovanega območja, le Logarska dolina v celoti leži znotraj varovanega območja. Tako se pri iskanju uspešnih načinov rabe kulturne dediščine kot turističnega izdelka velja zgledovati predvsem po primeru Logarske doline. To ugotovitev lahko podpremo še z dejstvom, da gre za razmeroma mlado turistično središče, ki je imelo podobno izhodišče, kakršno ima danes večina ozemlja in prebivalcev študijskega območja.

Na obrobju naštetih turističnih središč in hkrati v osrčju varovanega območja so turistične dejavnosti zelo razpršene. Trenutno gre skoraj izključno za gorniški turizem. Posebnosti tega so dolga tradicija, specifična tržna niša in majhna potrošnja ter posledično majhen zaslužek za morebitne ponudnike turističnih storitev. Gorniki na svojo dejavnost običajno gledajo kot na mešanico športa, skrbi za telesno odpornost in oddih (prim. medmrežje 1). Pogosto so to aktivni člani planinskih društev (npr. medmrežje 2).

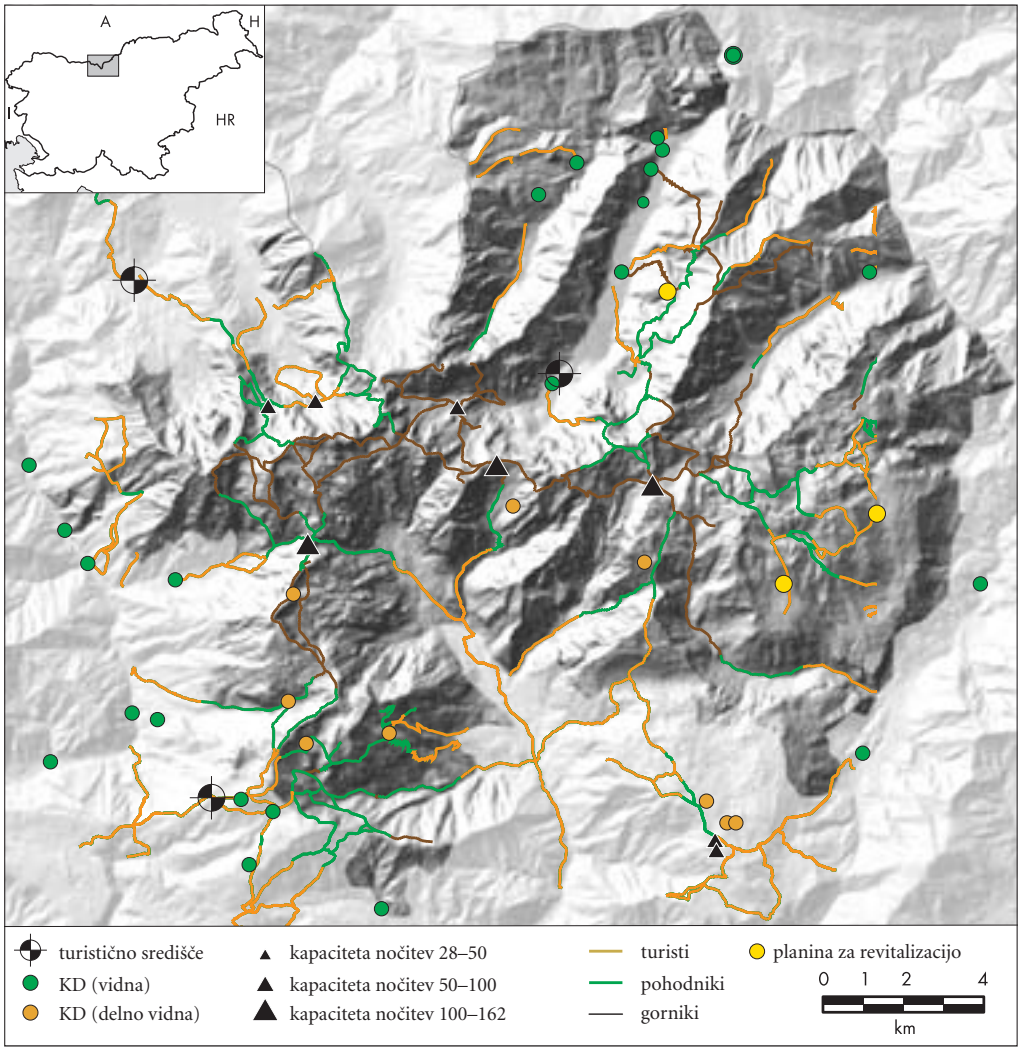
Naša osnovna naloga je bila sestaviti prostorski model rabe kulturne dediščine kot turističnega izdelka za izbrano študijsko območje (dalje model). V prvem koraku smo pripravili splošne in strokovne podatkovne sloje po obstoječih kabinetnih podatkih (preglednica 2).

Nekatere podatkovne sloje smo pridobili iz obstoječih kartografskih podlag (DTK 25), predvsem planinske poti in možne dostope z motornimi vozili. Urejenih parkirišč, na primer pred gostinskimi objekti, poštami ipd. nismo kartirali, saj namenska parkirišča, ki so integrirana v turistično ponudbo, obstajajo le v Logarski dolini.

Preglednica 2: Uporabljeni podatkovni sloji in viri.

podatkovni sloj	vir
digitalni model višin	DMV 12,5, november 2005 © Geodetska uprava Republike Slovenije
hidrološka karta	DTK 25 vektorsko, vode © Geodetska uprava Republike Slovenije
senčeno površje	DMV 12,5, november 2005 © Geodetska uprava Republike Slovenije
naklon površin	DMV 12,5, november 2005 © Geodetska uprava Republike Slovenije; Petek 2005, 38–41
nadmorske višine	DMV 12,5, november 2005 © Geodetska uprava Republike Slovenije; Petek 2005, 36–37
planinske poti	Kataster planinskih poti PZS; DTK 25 © Geodetska uprava Republike Slovenije
izhodišča planinskih poti	Kataster planinskih poti PZS; DTK 25 © Geodetska uprava Republike Slovenije; DTK 25 vektorsko, cestno omrežje © Geodetska uprava Republike Slovenije
znana arheološka najdišča	ARKAS (medmrežje 3); Horvat 2006
registrirana kulturna dediščina	Register nepremične kulturne dediščine (medmrežje 4)
obstoječo prenočitveni objekti	Planinska zveza Slovenije (medmrežje 5)

V prvem koraku smo kartirali tisto registrirano kulturno dediščino, ki smo jo označili kot vidno oziroma delno vidno. Prva kategorija pomeni, da si obiskovalec lahko to dediščino ogleda, na primer etnološko pomembno domačijo ali spomenik NOB. Dodatna pojasnila v obliki zgibank in podobno so zaželena, niso pa nujna. Druga kategorija pomeni, da bi bila lokacija za obiskovalca zanimiva le, če bi bila označena in opremljena z dodatnimi pojasnili. Lokacij, ki za obiskovalca niso zanimive, na pri-



Slika 1: Obstoječa turistična ponudba in možnosti neposredne uporabe znane kulturne dediščine za nove turistične izdelke (avtor: B. Štular; vir za senčen relief: DMV 12,5, november 2005 © Geodetska uprava Republike Slovenije).

mer mesto slučajne arheološke najdbe, nismo upoštevali. Vse ostale podatke smo uporabili predvsem za ugotavljanje dostopnosti posameznih lokacij in možno povezavo z obstoječo gostinsko ponudbo.

Pri iskanju na kulturni dediščini temelječih turističnih izdelkov smo upoštevali naslednje kriterije:

- 1. obstoječa mreža poti in dostopov,
- 2. obstoječa turistična infrastruktura (znotraj in na robu izbranega območja),
- 3. obstoječi turistični izdelki, ki temeljijo na kulturni dediščini in
- 4. potencial za turistične izdelke, ki temeljijo na kulturni dediščini.

Kot je razvidno (slika 1), je obstoječa turistična ponudba na izbranem območju skromna. Znotraj študijskega območja je ponudba konsolidiranih turističnih izdelkov omejena na območje Logarske doline.

Tudi vidna kulturna dediščina obstaja le v Logarski dolini. Neizkoriščen je potencial delno vidne kulturne dediščine na jugozahodnem delu izbranega območja, torej na vplivnem območju turističnega središča Krvavec. Morda ni naključje, da gre izključno za arheološka najdišča.

Na območju krajinskega parka in na neposrednem obrobju prevladujeta dve vrsti gostinske ponudbe. Znotraj območja so to planinske koče, na obrobju pa turistična središča. Ponudba je dobro vpeta v obstoječo mrežo poti, vendar je dostopnost objektov zelo specifična. Prevladujejo bodisi objekti na dostopih k planinskim potem, bodisi objekti, ki so od dostopov zelo oddaljeni.

Ker smo med obiskovalci gora iskali možne uporabnike turističnih izdelkov, smo jih razdelili v tri skupine glede na čas, ki so ga pripravljeni porabiti za hojo:

- turisti (do 2 h hoda dnevno),
- pohodniki (do 4 h hoda dnevno) in
- gorniki (do 8 h hoda dnevno).

Kot turiste oziroma izletnike smo poimenovali tiste obiskovalce, ki na destinaciji preživijo pol dneva. Za te smo domnevali, da so na izletu pripravljeni hoditi največ dve uri. V primerih, ko ne gre za krožne poti, so ti izletniki torej pripravljeni uporabljati turistične izdelke največ uro hoda od izhodišča. Kot pohodnike smo poimenovali izletnike, ki so pripravljeni na štiri urni pohod. Ti bi torej obiskali turistične izdelke, oddaljene do dve uri hoda od izhodišča. Le gorniki, ki se odpravijo na izlet že ob svitu oziroma se podajo v gore za več dni, so pripravljeni hoditi do 8 ur dnevno.

Doseg turistov, pohodnikov in gornikov na planinskih poteh pokaže, da so planinske koče namenjene izključno slednjim (slika 1). Niti turisti niti pohodniki jih večinoma ne dosežejo. Poleg tega so ti objekti na vrhuncu sezone tudi polno zasedeni. Zatorej jih lahko označimo kot konsolidiran turistični izdelek za določeno tržno nišo in jih v nadaljevanju ne bomo obravnavali. Na študijskem območju znotraj dosega turistov in pohodnikov tako, razen v Logarski dolini, skorajda ni potencialnih ali obstoječih na kulturni dediščini temelječih turističnih izdelkov, niti gostinske ponudbe.

Poleg naštetih pomanjkljivosti obstoječe turistične ponudbe je jugovzhodni del območja popolnoma prazen. To pripisujemo uspehu bližnje Velike planine. Kljub temu smo želeli poiskati predvsem potencial za razvoj tega prostora.

3 Napovedovalni model

Kot je za tovrstne analize običajno, se je kot najtrši oreh pokazalo iskanje novih primernih turističnih izdelkov. Primer dobre prakse na Veliki planini je pokazal, da imajo planine oziroma planšarije velik potencial za morebitne turistične izdelke. Hkrati najnovejši izsledki v arheologiji kažejo, da so ljudje nekatere planine obiskovali že od prazgodovine, večina pa je nastala najkasneje v visokem srednjem veku, nekako v 11. ali 12. stoletju (Štular 2006a; prim. Cevc 2006a). Vendar so mnogo planin za planšarsko živinorejo prenehali uporabljati najkasneje v 1970-ih letih (Petek 2005, 52–53). V Kamniško-Savinjskih Alpah so bile le delno evidentirane (Čerček 1949), zato jih je bilo treba poiskati. Pri tem so nas zanimala predvsem območja planinskih naselij, saj je območja paše na eni strani mnogo težje določiti (Melik 1950, 205), na drugi strani pa so za turistične izdelke in arheološke raziskave zanimiva predvsem naselja.

Pri nadaljnjem iskanju planin smo uporabili metodologijo napovedovalnih modelov (npr. Stančič in Veljanovska 1998; Church, Brandon in Burgett 2000; Štular 2006b, glej tam navedeno literaturo). Ti so definirani kot hipoteza ali več hipotez, ki poenostavljajo kompleksna opažanja in pri tem nudijo pretežno natančen napovedovalni okvir, ki ta opažanja strukturira. Pri tem ločimo soodnosne (angleško *correlative*) oziroma preproste napovedovalne modele in razlagalne (angleško *explanatory*) napovedovalne modele. Kot pove ime, se prvi navadno zadovoljijo z iskanjem in preverjanjem pozitivnih odnosov med iskanimi in znanimi činitelji v prostoru, drugi pa opažena razmerja tudi pojasnjujejo (Church, Brandon, Burgett 2000).

Past pri izdelavi napovedovalnega modela je zanašanje na moderne kulturne primerjave. Na primer, dandanašnji izjemno pomemben činitelj ekonomsko naravnane družbe, načelo najmanjšega napora (ang. *least effort*), ni bilo vedno osnovno gibalo družb. V arheoloških napovedovalnih modelih so pogosto uporabljene tudi spremenljivke kot so oddaljenost od vode, naklon, prisojnost ali osojnost terena, relief … Napačno je tem elementom pripisovati pomen elementov okolja, saj so le izmere terena.

Rešitev predstavljajo sinoptični (angleško *synoptic*) napovedovalni modeli. Ti so definirani kot regionalne kombinacije spremenljivk, relevantnih za lego arheoloških najdišč namesto specifičnih lokacij najdišč. Tudi ti pa so uspešni le, če uporabljajo podatke o paleookolju in ne o modernem okolju, kakor je skoraj brez izjeme slučaj (Church, Brandon, Burgett 2000, 136–138). Razlagalni napovedovalni model torej s pokrajinsko perpektivo išče mehanizme med korelacijami činiteljev okolja, da bi lahko razlagal razmerja med njimi.

Za naše potrebe smo izdelali utežen napovedovalni model temelječ na deduktivnem pristopu. Prvo pomeni, da je vsaki upoštevani kategoriji pripisana določena utež, slednje pa, da model temelji na apriornih predpostavkah o lokaciji virov. Končne vrednosti napovedovalnega modela predstavljajo seštevek uteži.

Model smo izdelali z GIS programsko opremo (ESRI ArcGIS 9.2), pri čemer so uporabljali predvsem orodjarno za prostorske analize (angleško *spatial analyst tools*), natančneje orodja kartografske matematike.

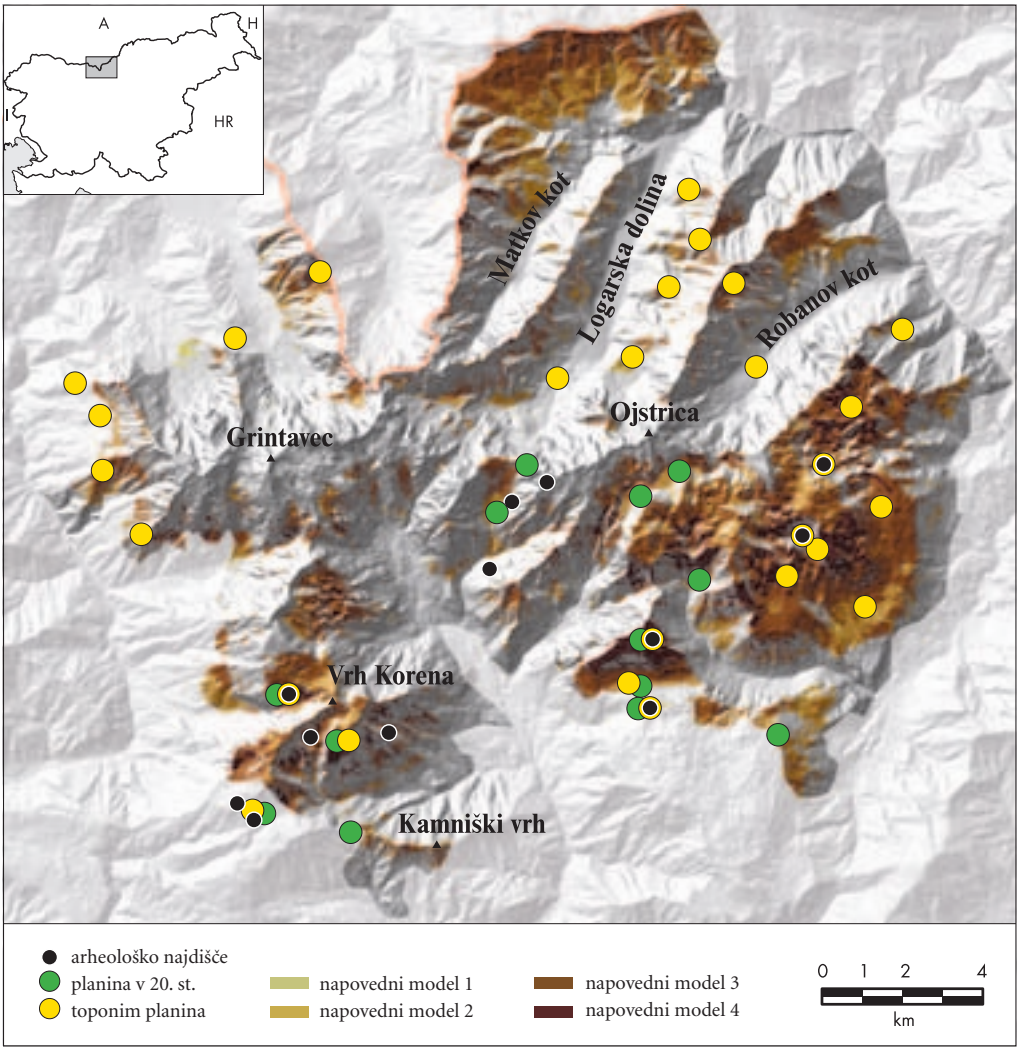
Model temelji predvsem na okoljskih dejavnikih, kar utemeljujemo s specifiko zahtevnega gorskega okolja. Naše izhodišče je bila prepričljiva hipoteza, da je raba tal v alpskem svetu močno prilagojena reliefnim enotam (Petek 2005, 45–46). Pri iskanju topografskih kriterijev za napovedni model lokacij planin smo se zanašali na podatke dobro raziskanih blejskih in bohinjskih planin (Melik 1950; Pleterski 1986, 114–119; Ogrin 2006; Štular 2006a) in deloma na opažanjih izkušenega topografa v Kamniških Alpah (Bremšak 2006).

Najstarejša je izraba t. i. naravnih planin nad gozdno mejo. Slednja je odvisna predvsem od nadmorske višine. Ker pa se ta prilagaja, med drugim, tudi klimatskim spremembam, smo namesto modernih podatkov o gozdni meji uporabili višine znanih blejskih in bohinjskih t. i. naravnih planin. Te so nastale na 1500 do 1800 metrih nadmorske višine. Mlajše planine so bile izkrčene najpogosteje na nadmorski višini med 1200 in 1500 metri, redkeje pa že nad 1000 metri. Izjemoma najdemo planine do višine 2000 metrov (Štular 2006a, slika 1; merski podatki izmerjeni na DMV 12,5). S temi izhodišči smo izdelali kategorijo višine s štirimi uteženimi skupinami (preglednica 3).

Preglednica 3: Uravnotežene kategorije napovedovalnega modela.

kategorija	utež 1	utež 2	utež 3	utež 4
višina v metrih	1000–1200, 1800–2000		1200–1500	1500–1800
naklon v stopinjah	30–35	20–30	12–20	0–12
sončna energija (kWh/m^2)	750–800	800–850	850–950	nad 950
oddaljenost od vodnega vira (minute hoda)	60	30	15	8

Kot naslednjo topografsko kategorijo smo uporabili naklon (preglednica 3). Površine z naklonom večjim kot 20° namreč niso primerne za pašo govedi (Petek 2005, 45). Ker pa so prvotno pasli predvsem ali celo izključno drobnico (Cevc 2006b, 117), smo upoštevali tudi naklon do 35°, kolikor znašajo najstrmejše dokumentirane alpske senožeti (Petek 2005, 38–39). Zgodnjesrednjeveške koče na Krvavcu so bile prav tako prilagojene gradnji v pobočjih z naklonom okoli 30° (prim. Pleterski 2006, slika 8; naklon lokacije izračunan na DMV 12,5). Kljub temu pričakujemo večino planšarij na območju z naklonom do 20°, saj so stavbe vedno postavljene v neposredni bližini ravnejšega prostora, ki so ga domnevno uporabljali za obor za živino (Bremšak 2006, 43).



Slika 2: Osnovni napovedovalni model lokacij planin z arheološko preteklostjo (avtor: Benjamin Štular; vir za senčen relief: digitalni model višin 12,5, november 2005 © Geodetska uprava Republike Slovenije).

Tretja kategorija je osončenost. Ta pomembno vpliva na kopnenje snega in sovpliva na kvaliteto pašnikov. Za slednje sta pomembni še geološka in posledično pedološka podlaga (Čerček 1949, 48–50 in 69–71; Melik 1950, 9–30). Vendar podatkov o slednjih v zadovoljivem merilu nismo imeli. Zato smo kvaliteto pašnikov ocenjevali z izračunavanjem osončenosti v obdobju paše, najpogosteje od 1. maja do 30. septembra (Melik 1950, 117–130), v 14 dnevnem intervalu.

Povprečna izmerjena osončenost je bila na območju znanih blejskih planin najmanj 101 kWh/m^2, največ 1.100 kWh/m^2 s srednjo vrednostjo 786 kWh/m^2. Izračunana energija pri vseh planinah presega 791 kilowatnih ur na kvadratni meter (kWh/m^2). Ta količina nam je služila za izhodišče pri uteževanju te kategorije (preglednica 2).

Z uporabo teh treh topografskih kategorij smo dobili prvo različico modela. Kategorije smo upoštevali v razmerju 1 : 1 : 2. Nadmorska višina in naklon torej predstavljata prvo polovico vrednosti, sončna energija drugo. Rezultat, razvrščen v štiri razrede, je bil spodbuden (slika 2).

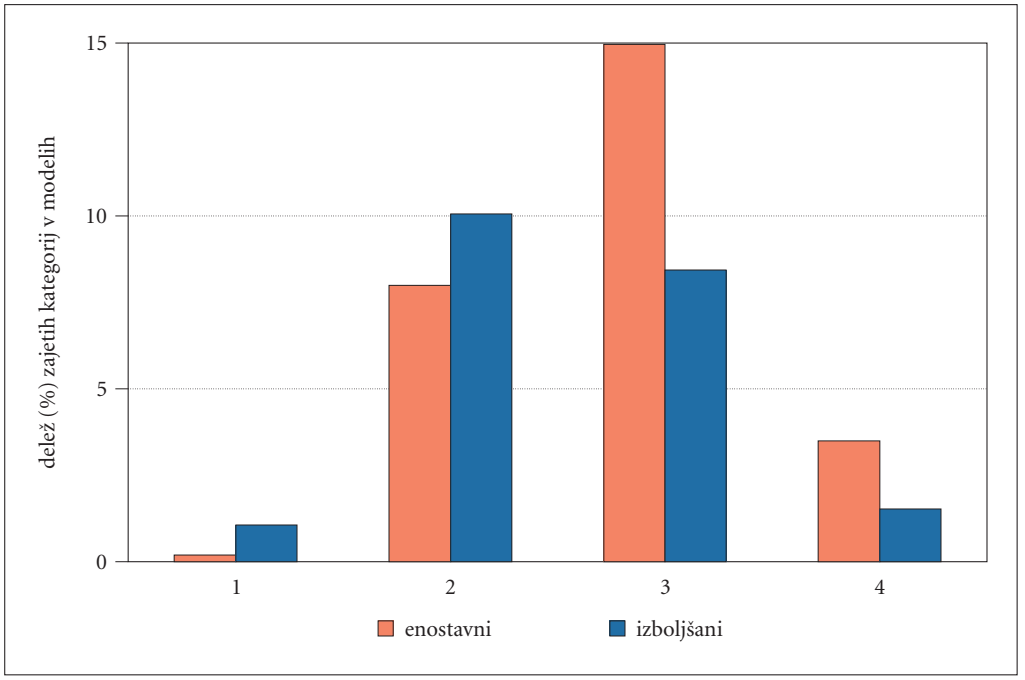
Kot kontrolno skupino smo uporabili več kategorij podatkov, ki smo jih pridobili neodvisno od modela. Najprej smo kartirali planine, evidentirane (Čerček 1949, 86) pred prvim valom opuščanja v 1950-ih letih (prim. Petek 2005, 78–80), in vse toponime Planina. Slednji označujejo lokacije pastirskih bivališč (prim. Melik 1950, 221–228), ki nas tudi zanimajo. Kot je pokazala študija blejskih planin, so s pridevnikom planina imenovane predvsem tiste, izkrčene pod gozdno mejo v visokem srednjem veku (prim. Štular 2006a, 234). Poleg tega smo kartirali znana arheološka najdišča (prim. Horvat 2006).

Znotraj območja napovedovalnega modela je bilo 85 % vseh historično dokumentiranih planin, 83 % odstotkov kartiranih toponimov planin in 72 % znanih arheoloških najdišč. S tem modelom torej lahko z najmanj 83 % gotovostjo napovemo lokacije planine. Arheološka najdišča nam služijo zgolj kot indikator in jih ne moremo uporabiti kot neposredni pokazatelj natančnosti modela. Upoštevana so namreč vsa arheološka najdišča ne glede na vrsto (jamsko, posamična najdba …) in datacijo. Z napovedovalnim modelom pa iščemo planine, torej povsem določeno vrsto arheoloških najdišč. Tovrstna uporaba pa je dokazana le na redkih najdiščih, ki jih ne moremo uporabiti kot statistično relevanten vzorec.

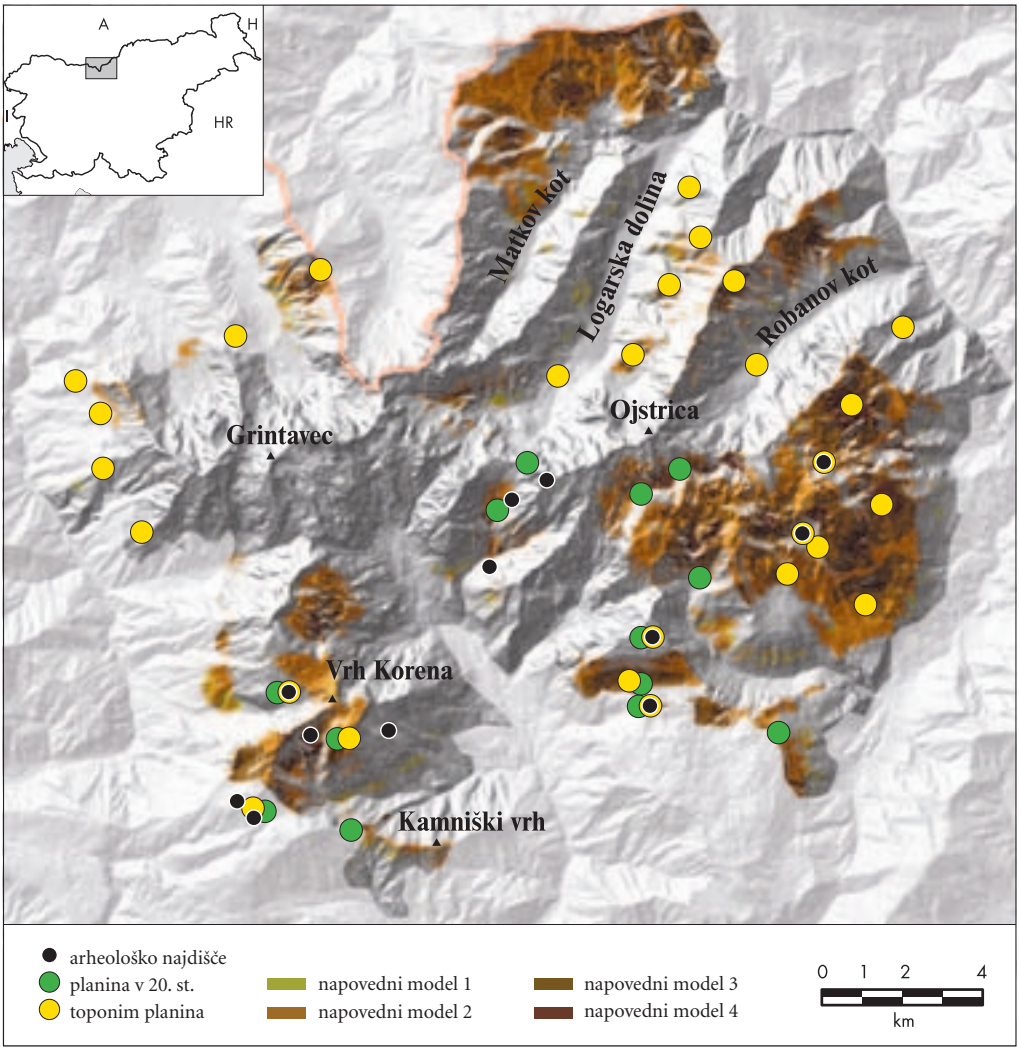
Kot naslednjo vrsto preverjanja podatkov smo uporabili Veliko planino. To dobro dokumentirano planšarsko območje, ki leži na robu študijskega območja in je zaradi idealnih pogojev v uporabi še danes, smo s prvim modelom zajeli skorajda v celoti.

Slabost prikazanega napovedovalnega modela je bila, da je še vedno obsegal 50,6 km^2 od oziroma 27 % študijskega območja.

Ker smo želeli rezultat izboljšati, smo uporabili še kategorijo bližina vodnega vira. Ta je ključnega pomena za izbiro bivališča, saj poleti na planotah tekoče površinske vode skorajda ni. Vendar doku-



Slika 3: Delež posameznih kategorij, zajetih v enostavnem (svetlejši stolpci) in izboljšanem (temnejši stolpci) napovedovalnem modelu.



Slika 4: Izboljšani napovedovalni model lokacij planin z arheološko preteklostjo (avtor: B. Štular; vir za senčen relief: DMV 12,5, november 2005 © Geodetska uprava Republike Slovenije).

mentirano stanje v Julijskih Alpah kaže, da prisotnost vode ni bila nujen pogoj za izbiro planin. Tam so v nekaterih primerih vodo prinašali ali pa so lovili deževnico. V vsakem primeru so prevladujoč način vodne oskrbe v planinah kali, ki so torej naravne, prirejene ali povsem delo človeških rok. Pri kartiranju na kartografski podlagi (DTK 25) med slednjimi nismo razločevali, saj je za naš namen povsem vseeno, ali je nastala planina zaradi kala ali kal zaradi planine.

Kategorija bližine vode je problematična zaradi dveh dejavnikov. Prvi je nezanesljivost kartiranja, na katero nimamo niti vpliva niti nadzora. Drug dejavnik je problem oddaljenost, do katere je vodo možno prinašati. Ker gre za napajanje črede in ne zgolj ljudi, smo kot skrajno mejo za povratno pot izbrali 1 uro hoda, izračunano z algoritmom PD 13 (Štular 2006c). Meja je postavljena tako, da lahko planšar, poleg ostalih opravil, opravi vsaj dve do tri poti dnevno. Kategorijo vodnih virov smo utežili glede na oddaljenost (preglednica 2).

Tako izboljšan model (slika 4) obsega 40 km^2 oziroma 21 % študijskega območja. Vendar je zanesljivost nekoliko manjša, saj zajame 63 % historično kartiranih stanov, 63 % toponimov planina in 50 % arheoloških najdišč. Z izboljšanim modelom torej lahko s 63 % verjetnostjo napovemo lokacijo planine. Kljub nekoliko slabši napovedni vrednosti je ta model zaradi manjšega obsega praktično uporabnejši (slika 3).

4 Novi turistični izdelki

Z uporabo znanstvene metode arheološkega GIS napovedovalnega modela smo pridobili podatkovni sloj, ki ga lahko neposredno uporabimo za iskanje turističnih izdelkov. Zgoraj predstavljeni model služi predvsem kot zagotovilo z določeno verjetnostjo, da bo na določenem mestu arheološko najdišče in s tem vidna ali delno vidna kulturna dediščina. To je pogoj za turistični izdelek, ki temelji na kulturni dediščini. Verjetnost smo povečali na mejo gotovosti s tem, da smo upoštevali le presečno množico obeh virov, modela in kartiranja. Povedano drugače, v nadaljevanju smo upoštevali kartirane toponime planina in historično kartirane planine, ki ležijo znotraj območja napovedovalnega modela.

Poiskati je bilo treba le še planine, ki bi bile najprimernejše za turistični izdelek. Kot kriterije smo upoštevali:

- popolno zaraslost,
- vsaj 3 objekti na katastrskem načrtu,
- srednja ali velika površina in
- dostopnost.

Prvi kriterij zagotavlja ekonomsko učinkovitost, saj bi šlo za nakup gozdne parcele z nizko ekonomsko vrednostjo. Poleg tega je z vidika negovanja kulturne pokrajine takšna planina najbolj degradirana in torej najpotrebnejša revitalizacije.

Obstoječa zakonodaja in visoke moralne vrednote, ki jih mora tak projekt vzdrževati, prepovedujejo novogradnje. Zato je pomembno, da so objekti še vrisani v katastrski načrt, saj gre potemtakem za obnovo in ne novogradnjo. Tri stavbe smo izbrali kot najmanjše število za potrebe turističnega izdelka.

Srednja ali velika površina planine zagotavlja dovolj prostora za sočasne turistične in kmetijske dejavnosti. Dostopnost pa je eden od osnovnih pogojev za uspešen moderen turističen izdelek.

S temi strogimi kriteriji smo na izbranem območju določili tri planine, ki so idealne za revitalizacijo (slika 1). Število se morda zdi majhno, vendar zadostuje za pilotski projekt. Poleg tega je bil model izdelan na podlagi kabinetnih podatkov in ga je možno izboljšati. Hkrati bi si lahko postavili tudi manj stroge kriterije pri iskanju ustreznih lokacij.

V primeru revitalizacije predlaganih planin bi šlo torej za sinergijo številnih dejavnikov:

- negovanje kulturne pokrajine,
- pridobivanje površin primernih za sonaravno kmetovanje,
- omogočanje prodaje pridelkov brez posrednikov na kraju samem,
- nov turistični izdelek, ki dosega najvišje standarde trajnega razvoja in
- visoko dodano vrednost,
- (z izpolnjevanjem naštetih kriterijev revitalizacija planin izpolnjuje tudi zahteve številnih virov subvencioniranja izgradnje in kasnejše dejavnosti).

Rekonstrukcijo objektov je treba uskladili z načeli dobre prakse, kakršne poznamo z Velike planine in z energijsko učinkovitimi tehnološkimi rešitvami. Trženje, predvsem celostni pristop, pa je treba uskladiti z načeli dobre prakse Logarske doline (na kulturni dediščini temelječi turistični izdelki, trajnostni razvoj) in Krvavca (načrtovanje investicije).

Revitalizirani planini na jugovzhodnem delu študijskega območja bi tudi odpravili največje pomanjkljivosti trenutne ponudbe, ki jih je razkrila analiza. Dostopnost iz obstoječih turističnih središč kaže, da bi revitalizirani planini na jugovzhodnem delu študijskega območja prevzeli vlogo novega

turističnega središča, revitalizirana planina na območju Logarske doline pa predstavlja redko priložnost širjenja ponudbe (tudi nočitvenih kapacitet) na način, ki je skladen s trajnostnim razvojem in izboljšuje na le turistično ponudbo, temveč tudi kakovost kulturne pokrajine. V okviru revitaliziranih planin pa bi bilo mogoče razvijati celo doživljajska središča, kjer bi prikazovali rekonstrukcije snovne in nesnovne dediščine z možnostjo aktivne udeležbe obiskovalcev.

5 Sklep

Jedro prispevka je izdelava napovedovalnega modela arheološke kulturne dediščine v gorskem svetu. Inovativnost prispevka ni metodološka, saj je uporabljena preizkušena metodologija. Naloga celo zahteva uporabo le preizkušenih metod, saj samo te zagotavljajo ohranjanje krhke kulturne dediščine na eni strani in trdnost argumentov, ki prepriča vedno skeptične investitorje na drugi strani. Prispevek prikazuje predvsem način, kako lahko združimo raziskovanje, kulturno dediščino in tržni izdelek v uspešno celoto.

Za konec še nekaj besed o krovnem projektu. Namen celotnega projekta je bil poiskati možnosti za aktiven trajnostni razvoj varovanih območij. Zahtevnost študije, s katero smo dobili zadovoljive rezultate je pokazala, da splošnega priročnika za uspeh ni. Državi kot naročniku projekta smo v priročniški obliki ponudili možnost, da primerno izobrazi strokovnjake, ki bodo usposobljeni za izvajanje tako zahtevnih študij na posameznih varovanih območjih. Te bodoče strokovnjake smo poimenovali »negovalci« kulturne dediščine. Izraz negovanje kulturne dediščine po našem mnenju obsega poleg ohranjanja dediščine tudi njeno vključevanje v moderno okolico, kar je možno le z načeli trajnostnega razvoja.

6 Viri in literatura

Bremšak, M. 2006: Odkrivanje arheoloških najdišč v slovenskem visokogorju. Človek v Alpah. Desetletje (1996–2006) raziskav o navzočnosti človeka v slovenskih Alpah. Ljubljana.

Breznik, A. 2006: Kulturna dediščina alpskih planin. Primer arheološkega parka na Krvavcu. Človek v Alpah. Desetletje (1996–2006) raziskav o navzočnosti človeka v slovenskih Alpah. Ljubljana.

Cevc, T. (ur.) 2006a: Človek v Alpah. Desetletje (1996–2006) raziskav o navzočnosti človeka v slovenskih Alpah. Ljubljana.

Cevc, T. 2006b: Arheološki pogledi o pašništvu v alpskem visokogorju. Pogledi etnologa. Človek v Alpah. Desetletje (1996–2006) raziskav o navzočnosti človeka v slovenskih Alpah. Ljubljana.

Church, T., Brandon, J. R., Burgett, G. R. 2000: GIS Applications in Archaeology: Method in Search of Theory. Practical Applications of GIS for Archaeologists: A Predictive Modeling Kit. London.

Čerček, E. 1949: Planine v južnih Kamniških Alpah. Geografski vestnik 20-21. Ljubljana.

Horvat, J. 2006: Arheološki sledovi v slovenskem visokogorju. Človek v Alpah. Desetletje (1996–2006) raziskav o navzočnosti človeka v slovenskih Alpah. Ljubljana.

Horvat, U. 2000: Razvoj in učinki turizma v Rogaški Slatini. Geografija Slovenije 4. Ljubljana.

Medmrežje 1: http://www.fsp.uni-lj.si/gornistvo (7. 3. 2008).

Medmrežje 2: http://www.pzs.si (7. 3. 2008).

Medmrežje 3: http://arkas.zrc-sazu.si (7. 3. 2008).

Medmrežje 4: http://rkd.situla.org/?uid=2375 (7. 3. 2008).

Medmrežje 5: http://www.pzs.si/koce/abeceda.php (7. 3. 2008).

Melik, A. 1950: Planine v Julijskih Alpah. Dela Inštituta za geografijo 1. Ljubljana.

Ogrin, M. 2006: Arheološke raziskave v Julijskih Alpah. Bohinj in Blejski kot. Človek v Alpah. Desetletje (1996–2006) raziskav o navzočnosti človeka v slovenskih Alpah. Ljubljana.

Petek, F. 2005: Sprememba rabe tal v slovenskem alpskem svetu. Geografija Slovenije 11. Ljubljana.

Pleterski, A. 1986: Župa Bled: nastanek, razvoj in prežitki. Ljubljana.
Pleterski, A. 2006: Zgodnjesrednjeveška poselitev na Bleku pod planinskim domom na Krvavcu. Predhodno poročilo o arheologiji povedke. Človek v Alpah. Desetletje (1996–2006) raziskav o navzočnosti človeka v slovenskih Alpah. Ljubljana.
Stančič, Z., Veljanovska T. 1998: Arheološki napovedovalni modeli in GIS. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1997–1998. Ljubljana.
Štular, B. 2006a: Prostor Blejskih planin v srednjem veku. Človek v Alpah. Desetletje (1996–2006) raziskav o navzočnosti človeka v slovenskih Alpah. Ljubljana.
Štular, B. 2006b: Napovedovanje preteklost Bistriške ravni. Kamniški zbornik 18. Kamnik.
Štular, B. 2006c: Analiza gospodarskega zaledja v arheologiji krajin. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2005–2006. Ljubljana.

PRIMERJAVA METOD DOLOČANJA NARAVNE RANLJIVOSTI NA OBMOČJU KRVAVCA

Grega Juvan, Barbara Čenčur Curk
Inštitut za rudarstvo geotehnologijo in okolje
grega.juvan@irgo.si, barbara.cencur@irgo.si

UDK: 528.9:502.2(497.4)
COBISS: 1.16

IZVLEČEK
Primerjava metod določanja naravne ranljivosti na območju Krvavca
Dobra določitev naravne ranljivosti območja je izredno pomembna kot podlaga kvalitetni karti tveganja. Zato smo v okviru projekta KATER II na Krvavcu za določitev območij povečane naravne ranljivosti uporabili tri različne metode. Izbira metod je potekala na podlagi dostopnosti podatkov. Ker je območje Krvavca delno zakraselo, je bila pomembna tudi možnost aplikacije na zakraselem območju. Izbrali smo naslednje metode: metoda PI (Goldscheider 2003), metoda COP (Vias 2003) in slovenski pristop h kartiranju naravne ranljivosti (Ravbar 2007). Generalni izgled vseh treh končnih kart ranljivosti je sicer podoben, vendar pa končni pogled razkrije več pomembnih razlik. V članku bodo razlike natančneje opredeljene, predstavljen pa bo tudi vzrok za pojav teh odstopanj med posameznimi metodami.

KLJUČNE BESEDE
GIS, naravna ranljivost, metoda PI, metoda COP, slovenski pristop h določanju naravne ranljivosti, Krvavec.

ABSTRACT
The comparison of different intrinsic vulnerability methods on Krvavec area
Solid determination of an intrinsic vulnerability serves as basis for a good hazard map. In order to most accurately determine the areas of higher vulnerability, three different methods for vulnerability mapping were used. The selection of methods was based with data availability in mind. Since Krvavec is partly karstified, the possibility of method application on karst area was also important. The methods used were: PI method (Goldscheider 2003), COP method (Vias 2003) and Slovenian approach to intrinsic vulnerabilty mapping (Ravbar 2007). The general overview of final vulnerability maps shows the same vulnerability classes in more or less the same areas. But on closer look differences between methods become more obvious. Identifying these differences and cause for them can be traced back to one individual parameter used in each method.

KEY WORDS
GIS, intrinsic vulnerability, PI method, COP method, Slovenian approach to intrinsic vulnerability, Krvavec

1 Uvod

Rezultat kartiranja naravne ranljivosti je karta naravne ranljivosti nekega območja. To je karta, ki prikazuje območja povečane naravne ranljivosti oziroma območja, kjer bo imelo potencialno onesnaženje največji vpliv na podzemno vodo. Zaradi velikega števila različnih parametrov, ki opredeljujejo naravno ranljivost, smo za aplikacijo treh metod določanja ranljivosti uporabili GIS programsko okolje. Namen je bil ugotoviti katera od uporabljenih metod določanja naravne ranljivosti za območje Krvavca najbolj primerna.

Primerjava metod je potekala v okviru projekta KATER II, INTERREG IIIB program. Za pilotno območje smo izbrali delno zakraselo območje Krvavca. Meje tega območja potekajo na južnem delu do naselja Grad in izvira reke Pšate, na vzhodnem delu po dolini potoka Korošak do planine Dolge njive, na severnem delu poteka meja po dolini reke Kokre, na zahodnem delu pa čez sedlo Davovec in po dolini potoka Reka.

2 Geološke in hidrogeološke značilnosti območja

Na pilotnem območju prevladujejo srednje in zgornje triasni apnenci, ki so ponekod dolomitizirani. Zaradi Savskega preloma, ki prečka območje pri Ambrožu pod Krvavcem, je celotno območje gosto prepredeno s prelomi v smeri SZ–JV (dinarska smer). Območje severno od Savskega preloma sestavlja več narivnih enot (Janež s sodelavci 2005) Podlago najnižje narivne enote predstavljajo psevdoziljski skladi (glinavci, meljevci in drobnozrnati peščenjaki), ki izdanjajo na območju med Ambrožem pod Krvavcem in potokom Korošak. Na to litostratigrafsko enoto sta narinjena cordevolski dolomit in lateralno anizijski dolomit (zahodni del pilotnega območja). Nad to enoto se pojavijo še tri narivne luske. Z izjemo spodnje narivne luske, ki jo sestavljajo Solčavske plasti (črni tankoplastnati apnenci, laporovci, tufi), ostale narivne enote sestavljajo srednje in zgornje triasne karbonatne kamnine. Tudi južno od Savskega preloma prevladujejo srednje in zgornje triasni karbonati, ki so narinjeni na spodnje kredni fliš (Dobliški nariv) (Vrabec 2001). Kredni fliš se pojavlja v tektonskih oknih ob prelomih okrog Stiške vasi in v večjem obsegu nad izvirom reke Pšate (Vrabec 2001).

Večino pilotnega območja prekrivajo rendzine (rjave rendzine). Gre za bolj razvito različico tega tipa tal, zato debelina tal ponekod presega 30 cm debeline. Poleg omenjenih rendzin se na pilotnem območju Krvavca pojavljajo tudi rjava pokarbonatna tla. Slednja so zaradi debeline (več kot 1 meter) in vsebnosti glin v B horizontu označena kot manj prepustna in zelo pripomorejo k zmanjšanju naravne ranljivosti območja. To smo spoznali na terenskem delu.

Na območju Krvavca smo opredelili dva vodonosnika. Prvi, nižje ležeči vodonosnik, zajema praktično celotno pilotno območje. Na območju planine Jezerca, Kržiša, Krvavca in Zvoha se nahaja drugi, viseči vodonosnik. Neprepustno podlago slednjega predstavljajo Solčavske plasti v spodnji narivni luski. Oba vodonosnika smo označili kot razpoklinska, podrejeno kraška vodonosnika.

3 Metodologija izdelave kart ranljivosti

Izdelava kart ranljivosti je potekala v GIS programskem okolju. Različne informacije o območju smo razdelili v različne sloje na podlagi matrik, ki prikazujejo strukturo kart ranljivosti. Zaradi končne primerjave metod je bilo potrebno dosledno upoštevati matrike, ki narekujejo katere in kako je podatke za izdelavo karte potrebno uporabiti.

Pred začetkom izdelave je bilo potrebno pripraviti vrsto različnih podatkov: geologija (Vrabec 2005), hidrogeologija (Janež 2005), pedologija (Pedološka karta 1 : 25.000; Biotehniška fakulteta), relief (DMR 12,5 Geodetske uprave Republike Slovenije), vegetacija, padavine (ARSO) …, ki jih je bilo za uporabo v GIS treba spremeniti v obliko podatkov *.shp* ali *raster*. Še največ podatkov je bilo v obliki *.dwg* in *.txt*.

Za uporabo pri izdelavi kart ranljivosti smo posameznim vrednostim v podatkovnih slojih določili dodatne vrednosti oziroma uteži. Določanje uteži določenim vrednostim je potekalo skladno z matrikami posameznih metod izdelave kart ranljivosti. Izračuni med podatkovnimi sloji potekajo s pomočjo teh uteži.

Zaradi metodoloških zahtev smo obliko podatkovnih slojev med postopkom izdelave kart večkrat spremenili iz *.shp* v *raster* in obratno. Razlog za to je bil v lažjem operiranju oziroma računanju z rastrskimi podatki. Velikost oziroma resolucija rastrskih podatkov je tekom celotnega postopka izdelave karte ostala nespremenjena. Za vse metode smo uporabili rastrsko resolucijo 12,5 krat 12,5 metra, kar je tudi resolucija digitalnega modela reliefa. Zaradi prikaza kart tudi v drugih grafičnih programih (ACAD) so bile končne karte ranljivosti ponovno spremenjene v *.shp* in *.dwg* obliko.

3.1 Metoda PI

Metoda PI je bila v okviru evropskega projekta COST 620 (Zwahlen 2003) razvita na Oddelku za aplikativno geologijo na Univerzi v Karlsruhe-ju (Goldscheider 2003, 144–155). Metoda je namenjena kartiranju naravne ranljivosti in določitvi naravne zaščite najvišje ležečega vodonosnika na kraškem območju v programskem okolju GIS. Ker metoda za izračun poti polutanta privzema vse nezasičene plasti med površjem in nivojem podzemne vode in privzema nivo podzemne vode kot cilj onesnaženja, je uporabna predvsem za izračun ranljivosti vodnih zalog (vodnega zaledja).

Akronim »PI« predstavlja glavni lastnosti, ki jih upošteva metoda PI. Tako faktor P opisuje zaščitenost vodonosnika pred onesnaženjem na površju (angleško *protective layers*), faktor I pa infiltracijske sposobnosti območja nad vodonosnikom (angleško *infiltration conditions*). Izračun faktorja P poteka po rahlo modificirani nemški (GLA) metodi (Goldscheider 2003, 144–155).

Faktor I opisuje infiltracijske sposobnosti območja oziroma, do katere meje voda, in z njo polutant, obide zaščitne plasti nad vodonosnikom.

Karta naravne ranljivosti izdelana po metodi PI je prikazana na sliki 1.

3.2 Metoda COP

Tako kot metodo PI tudi COP metodo uporabljamo za kartiranje naravne ranljivosti kraškega ozemlja. Tudi ta metoda je bila razvita v okviru evropskega COST 620 projekta. Metoda je bila prvič uporabljena v južni Španiji na območjih Libar in Torremolines (Vias 2003, 163–172), kjer je bila uporabljena tudi za evaluacijo že obstoječih kart ranljivosti.

Ime metode »COP« je akronim, ki tako kot pri PI metodi predstavlja začetnice glavnih faktorjev, ki opredeljujejo naravno ranljivost določenega območja. Tako predstavlja faktor C koncentracije toka (angleško *flow concentration*), faktor O lastnosti plasti nad vodonosnikom (*ang.: Overlying layers*) in faktor P padavine (angleško *precipitaion*).

Karta naravne ranljivosti izdelana po metodi COP je prikazana na sliki 2.

3.3 Slovenski pristop h kartiranju naravne ranljivosti

Že večkrat preverjena in aplicirana metoda COP (Vias 2003, 163–172) se je zaradi uporabe več različnih parametrov (vrednosti) izkazala za najbolj primerno za aplikacijo v slovenskem kraškem prostoru. Za dodatno bolj natančno aplikacijo so ji bile določene vrednosti dodane in modificirane (Ravbar 2007) tako, da je metoda bolj aplikativna tudi v slovenskem prostoru.

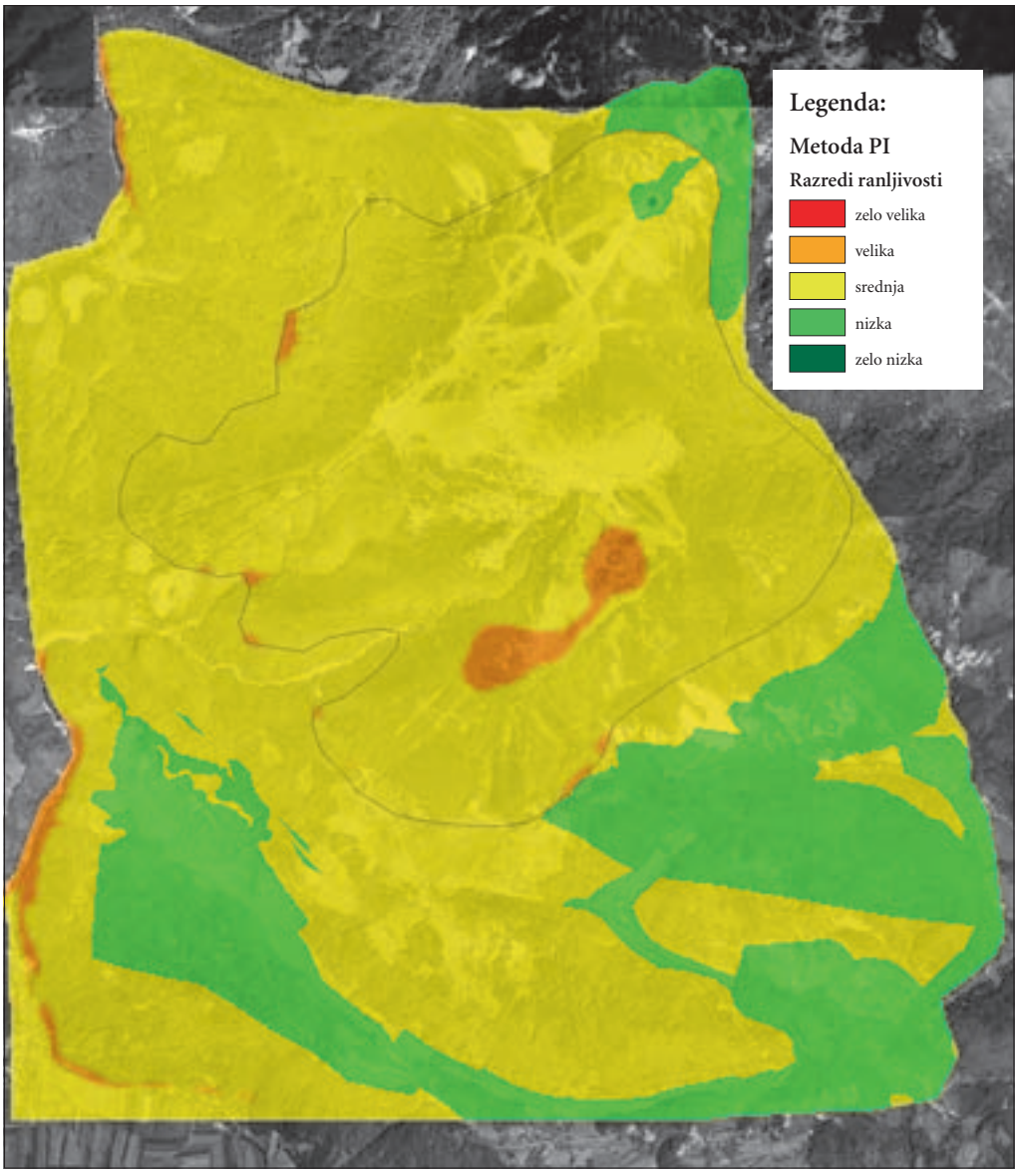
Ker je slovenski pristop h kartiranju naravne ranljivosti (Ravbar 2007) izpeljan iz metode COP, so glavni faktorji metode ostali isti. Faktorji O, C in P predstavljajo iste parametre in uteži določene razredom teh faktorjev so ostale nespremenjene. Spremenjene pa so uteži določene posameznim vrednostim oz. parametrom, iz katerih potem tvorimo glavne tri faktorje.

Karta naravne ranljivosti izdelana po slovenskem pristopu je prikazana na sliki 3.

4 Aplikacija metod in karte ranljivosti

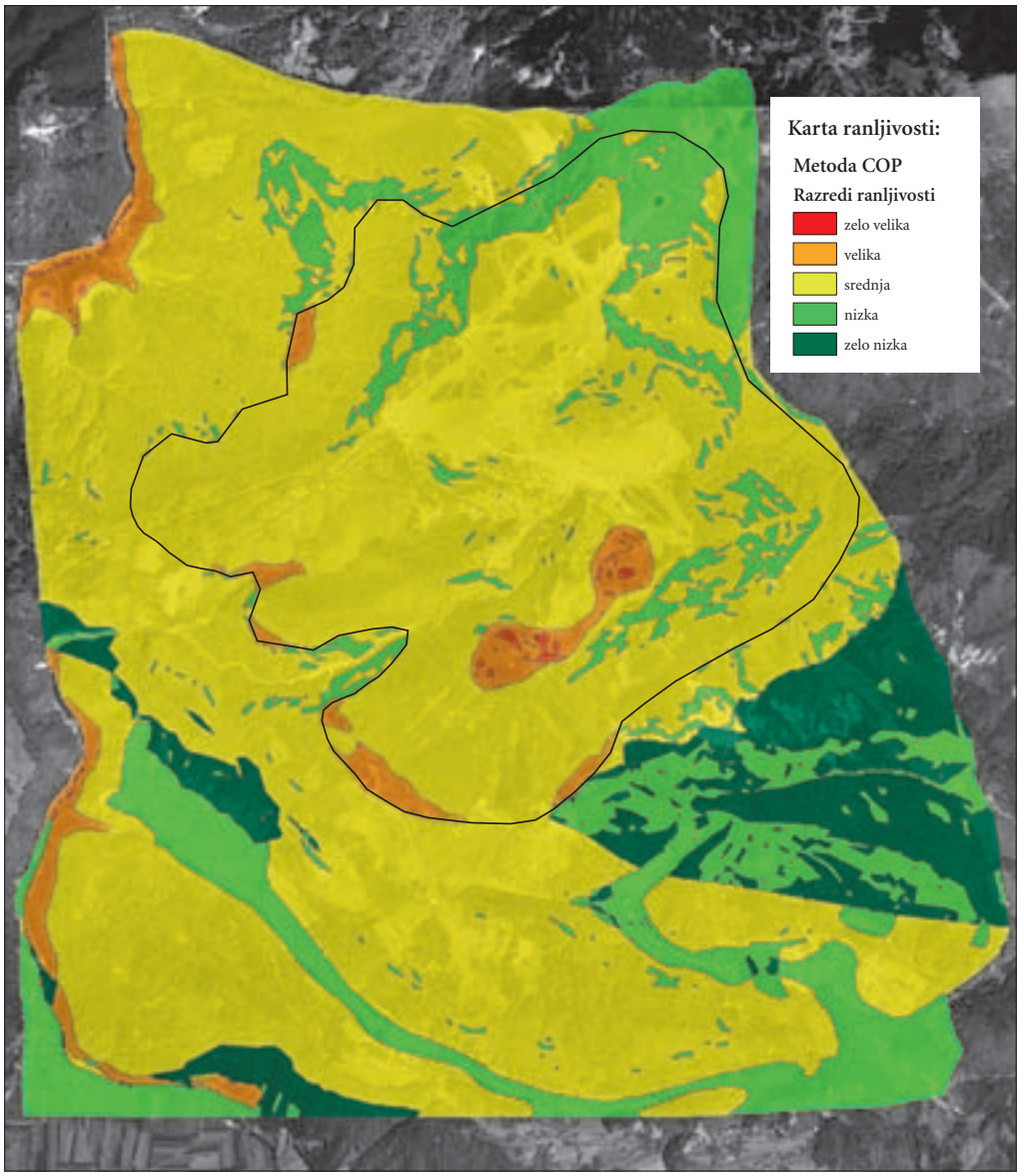
Vsaka metoda določanja naravne ranljivosti je najbolj uporabna na območju, na katerem je bila prvotno zasnovana. Uporaba na drugih območjih zahteva od uporabnika razne prilagoditve zaradi lastnosti terena in/ali dostopnosti zahtevanih podatkov.

Že pred začetkom obdelave podatkov se je pokazalo, da aplikacija izbranih metod na območju Krvavca ne bo direktna. Za boljše ujemanje z realnim stanjem so bile potrebne določene prilagoditve vseh metod.



Slika 1: Karta naravne ranljivosti izdelana po metodi PI (Juvan 2007).

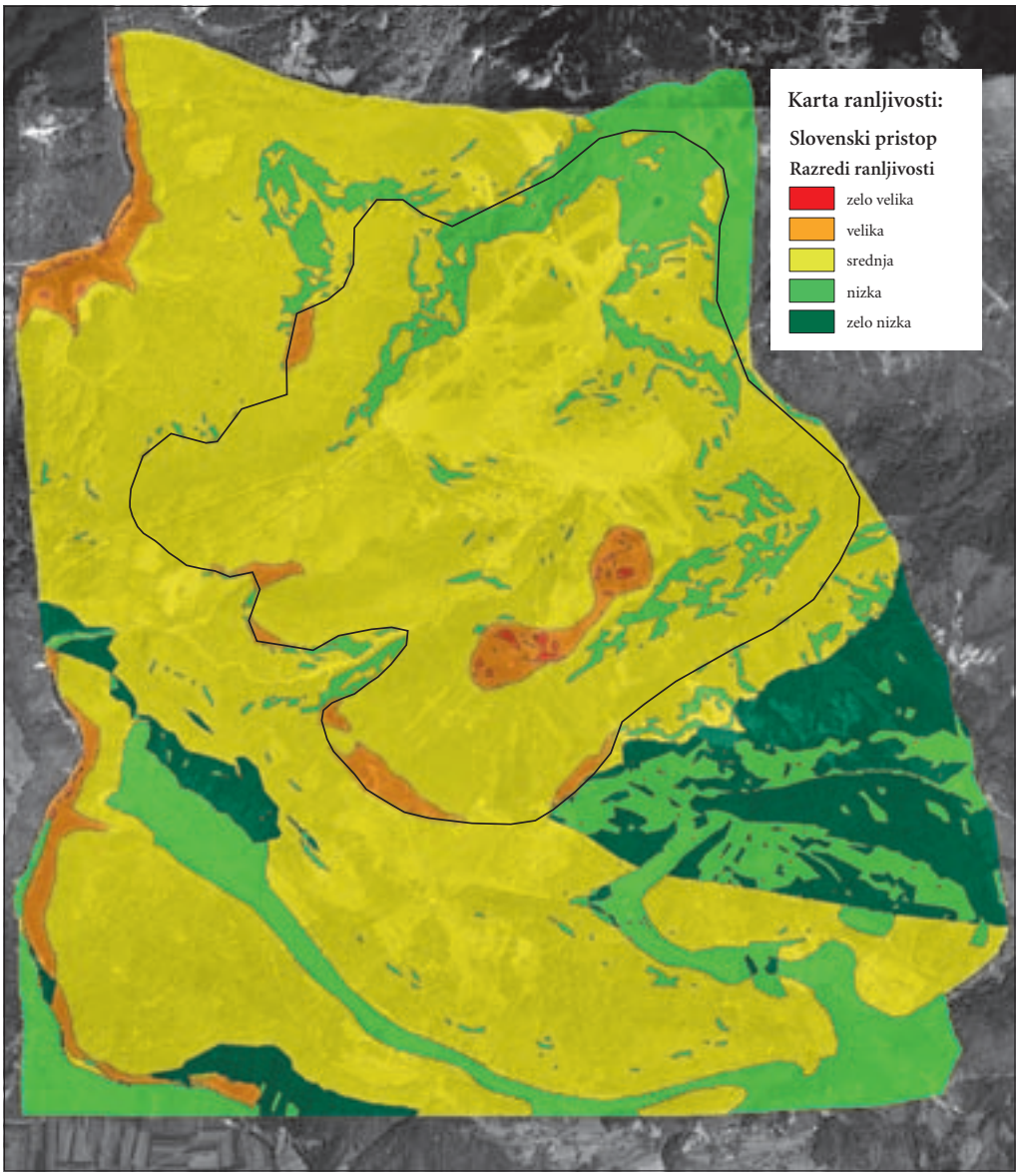
Ker metodi kot cilj onesnaženja upoštevata najvišji vodonosnik, smo območje Krvavca razdelili na dve pilotni območji: zunanje (območje nižje ležečega vodonosnika) in notranje (območje višje ležečega vodonosnika). Notranje pilotno območje se nahaja nad zgornjim visečim vodonosnikom. Ker ves ostali del obravnavanega območja zavzema tudi spodaj ležeči vodonosnik, smo ostalo območje definirali kot zunanje pilotno območje. Ker se solčavske plasti nahajajo v notranjem pilotnem območju in pod visečim vodonosnikom niso bile pomembne za izračun ranljivosti. Po razdelitvi smo ločeno izdelovali dve karti ranljivosti; za notranje in za zunanje pilotno območje. Za končni prikaz enotne karte ranljivosti smo karti obeh območij poenotili.



Slika 2: Karta naravne ranljivosti izdelana po metodi COP (Juvan 2007).

Posebno pozornost smo namenili tudi območju planine Jezerca in vrhu Kržiše. Na tem delu se nahaja večje število vrtač, kar nakazuje zelo dobro razvito epikraško cono. Upoštevanje tega dejstva je zelo pomembno, saj prisotnost epikraške cone pomeni občutno povečanje naravne ranljivosti območja (Goldscheider 2003, 144–155).

Končni produkt opravljenega dela so tri karte ranljivosti (slika 1 do 3). Karte prikazujejo isto območje, izračunane pa so po različnih metodah. Za učinkovito primerjavo smo uporabili iste vhodne podatke.



Slika 3: Karta naravne ranljivosti izdelana po slovenskem pristopu h kartiranju naravne ranljivosti (Juvan 2007).

To pomeni, da so končne razlike v kartah izključno odraz razlik med metodami in ne posledica subjektivnega obravnavanja in vnosa podatkov. Končne vrednosti naravne ranljivosti so razdeljene v pet razredov (od zelo visoke do zelo nizke ranljivosti) in so na vseh treh kartah prikazane z enakimi barvami.

5 Primerjava kart ranljivosti

Primerjava kart ranljivosti ni potekala v GIS okolju, nam pa je to orodje pomagalo pri iskanju razlogov za pojav razlik. Pri primerjavi kart smo se osredotočili na posamezne razrede naravne ranljivosti in na območja pojavljanja teh razredov. S pomočjo GIS orodja pa je bilo možno med različnimi kartami primerjati isto točko (en rastrski kvadrat: 12,5 krat 12,5) oziroma območja in vse vrednosti, ki so bile upoštevane pri izračunu končne ranljivosti za to točko. Razlike med dvema območjema v vrednostih določenega parametra nam povejo kolikšen poudarek poda metoda temu parametru.

Generalni pregled vseh treh kart ranljivosti pokaže precej razlik, vendar pa je potrebno poudariti, da se območja enakih ali vsaj podobnih ranljivosti pojavljajo na bolj ali manj enakih lokacijah. Delno to potrjuje, da sta bila postavitev metod in izračun končne ranljivosti pravilna.

V nadaljevanju bomo podali glavne razlike med posameznimi kartami glede na posamezne razrede ranljivosti.

5.1 Razred zelo velike naravne ranljivosti

Manjša območja zelo velike ranljivosti se pojavijo le pri karti naravne ranljivosti, izdelani po metodi COP. Ta območja se pojavijo v najnižjih delih dolin potoka Reka in reke Kokre. Razlog za njihov pojav so razpokane karbonatne kamnine, tanek in prepusten sloj tal ter bližina podzemne vode (manj kot 20 metrov). Pri karti naravne ranljivosti COP lahko opazimo še manjša območja zelo visoke ranljivosti tudi na območju vrtač, kjer poleg razvite epikraške cone k nastanku območij zelo visoke ranljivosti pripomore tudi naklon pobočja.

5.2 Razred velike naravne ranljivosti

Območja velike naravne ranljivosti se pojavijo na vseh treh kartah ranljivosti. Tudi lokacije teh območij so bolj ali manj enake. Glede na dejstvo, da se razred zelo velike ranljivosti pojavi edino pri karti izdelani po metodi COP je na tej karti tudi največ območij velike ranljivosti. Na vseh treh kartah se poleg območij v dolinah in ob vznožjih pobočij razred velike ranljivosti pojavi tudi na območju vrtač. Pri karti izdelani po metodi PI je celotno območje vrtač uvrščeno v ta razred. Pri metodi COP se v vrtačah poleg velike pojavi tudi zelo velika ranljivost. Ravno nasprotno lahko opazimo pri karti izdelani v skladu s slovenskim pristopom h kartiranju naravne ranljivosti. Pri tej karti je območje vrtač sicer uvrščeno v razred velike ranljivosti, vendar pa se na območjih dejanskih vrtač pojavijo območja srednje ranljivosti.

5.3 Razred srednje naravne ranljivosti

Že hiter pogled na vse tri karte nam pove, da razred srednje ranljivosti prevladuje nad ostalimi razredi.

Pri metodi PI lahko zaključimo, da na spremembo tega razreda ne vplivata ne naklon pobočij, ne poraslost z vegetacijo. Glede na debelino nezasičene cone, se razred srednje ranljivosti pri metodi PI nahaja med 50 in 830 metrov.

Območja srednje ranljivosti so pri karti izdelani po metodi COP prepredena z manjšimi območji nizke naravne ranljivosti. Ta kaotična območja so posledica večjega vpliva naklona pobočij in pora-

slosti z vegetacijo. Območja srednje ranljivost se pri karti COP pojavljajo na območjih, kjer je debelina nezasičene cone med 90 in 820 metrov.

Na karti ranljivosti izdelani po slovenskem pristopu h kartiranju naravne ranljivosti je območje srednje ranljivosti najmanjše. Razlog za to je tudi v večjem območju nizke ranljivosti med Ambrožem pod Krvavcem in manjšo dolino severno od Grajskega hriba, ki je pri ostalih metodah opredeljena z srednjo ranljivostjo. Pri karti ranljivosti izdelani po slovenskem pristopu se razred srednje ranljivosti pojavlja na območjih, kjer je debelina nezasičene cone med 90 in 800 metrov. Ker pa pri tej metodi debelina nezasičene cone ni tako pomembna kot pri metodah PI in COP, se na območjih, ki se nahajajo v prej omenjenem intervalu nezasičene cone, pojavljajo večja območja nizke ranljivosti. Manjša območja srednje ranljivosti se pojavijo tudi na območju vrtač, in sicer v najnižjih delih vrtač, kjer je debelina tal največja.

5.4 Razred nizke naravne ranljivosti

Območja nizke ranljivosti pri karti PI so predvsem območja rjavih pokarbonatnih tal in območja slabo prepustnih kamnin. Na spremembo tega razreda ne vpliva niti skladanje rjavih pokarbonatnih tal in slabo prepustnih kamnin na enem območju. Na skrajno severovzhodnem delu, je zaradi velike debeline nezasičene cone v razred nizke naravne ranljivosti uvrščen tudi vrh Zvoha in planina Dolge njive.

Na območjih, kjer pri metodi PI prevladuje nizka ranljivost, lahko pri metodi COP zasledimo menjavanje nizke in zelo nizke ranljivosti. Enako kot na ostalem delu Krvavca je vzrok za nepravilno menjavanje teh dveh razredov naklon pobočij in poraslost z vegetacijo (faktor C metode COP). Območja, opredeljena z nizko naravno ranljivostjo, so tista, kjer se na površini nahajajo rjava pokarbonatna tla oziroma območja, kjer je debelina nezasičene cone dovolj velika.

Pri karti ranljivosti izdelani po slovenskem pristopu h kartiranju naravne ranljivosti so območja nizke ranljivosti tista, kjer prevladujejo slabo prepustne kamnine ali kjer površje prekriva sprsteninasta rendzina, katere debelina je večja od 0,3 metra. Slednje lahko opazimo na območju med Ambrožem pod Krvavcem in manjšo dolino severno od Grajskega hriba. V razred nizke ranljivosti je uvrščena tudi večina območja psevdoziljskih skladov. Izjema so le območja, kjer se poleg psevdoziljskih skladov pojavijo tudi rjava pokarbonatna tla.

5.5 Razred zelo nizke naravne ranljivosti

Pri metodi COP se razred zelo nizke ranljivosti pojavi na območjih slabo prepustnih kamnin. Na splošno bi lahko povedali, da se zelo nizka ranljivost pri metodi COP pojavi le na območjih, kjer podlago sestavljajo slabo prepustne kamnine.

Pri karti izdelani po slovenskem pristopu h kartiranju naravne ranljivosti lahko opazimo ravno obratno sliko. Tu so območja slabo prepustnih kamnin uvrščena v razred nizke ranljivosti. Območja, kjer pa površje prekrivajo slabo prepustna pokarbonatna tla, so uvrščena v razred zelo nizke ranljivosti. Debelina rjavih pokarbonatnih tal je na obravnavanem območju dostikrat večja od enega metra.

Na karti ranljivosti izdelani po metodi PI območij zelo nizke ranljivosti ni.

6 Sklep

Končni rezultat primerjave kart ni bila nova karta naravne ranljivosti, temveč je primerjava le podala pomanjkljivosti in prednosti posameznih metod. V zaključkih na kratko podajamo glavne ugotovitve glede na posamezno metodo.

Pri metodi PI opazimo odsotnost obeh skrajnih razredov ranljivosti. Razlog za to je logaritemska opredelitev faktorja P, ki pojav teh razredov povzroči le ob res skrajnih razmerah. Dodatno karto »pos-

ploši« tudi premalo natančno opredeljen faktor I (na celotnem območju je enak 1 in na izgled karte ne vpliva). Metoda PI je sicer hitra in enostavna metoda, vendar pa je smotrnost njene uporabe v hribovitem terenu vprašljiva zaradi prevelikega vpliva debeline nezasičene cone na izgled karte.

Metoda COP je natančnejša ker uporabi več različnih parametrov za izračun ranljivosti. Uteži določene parametrom so bolj uravnotežene kot pri metodi PI. Vendar pa je ravno ta uravnoteženost vzrok za pojav nepravilnih območij oz. menjavanj različnih ranljivosti. Menjavanja so le odraz vpliva naklona pobočja ter vegetacije in na dejansko ranljivost nimajo tolikšnega vpliva, kot pa to prikazuje karta. Velika prednost metode COP se pokaže pri določanju skrajnih razredov ranljivosti. Tako metoda jasno loči območja slabo prepustnih tal (nizka ranljivost) in območja slabo prepustnih kamnin (zelo nizka ranljivost).

Slovenski pristop h kartiranju naravne ranljivosti je nadgradnja metode COP. Karta je na izgled bolj enostavna in ni nepravilnega menjavanja razredov. Pomembna za izgled in boljšo opredelitev območja je zagotovo bolj natančna opredelitev debeline tal. Ta pripomore k izpostavljanju območij, ki so se »izgubila« v preveč splošni opredelitvi parametra pri metodi COP. Boljša je tudi opredelitev padavin in faktorja C. Določene pod-faktorje faktorja C je zaradi večih spremenljivk v okolju GIS težje aplicirati. Pri opredelitvi razredov se je problem pojavil le pri opredelitvi nizke in zelo nizke ranljivosti. Ta je namreč ravno obratna kot pri metodi COP, kar pa bi težko podprli s terenskimi opazovanji.

Na koncu izdelave in primerjave vseh treh kart ranljivosti se je težko odločiti, katera bi bila tista, ki bi najbolje prikazovala realno stanje na terenu. Glede na aplikacijo, se je za najbolj enostavno izkazala metoda PI, ki pa za aplikacijo na območju Krvavca ni dovolj natančna. Metoda COP je veliko bolj natančna, vendar pa se glede na izkušnje razredi na karti prepogosto menjujejo. Kot zadnja je bila karta ranljivosti izdelana po slovenskem pristopu h kartiranju naravne ranljivosti. V primerjavi z metodo COP veliko bolj uravnoteženo upošteva dejavnike, ki tvorijo končno ranljivost. Kontroverzna je le opredelitev nizke in zelo nizke ranljivosti.

7 Viri in literatura

Doerfliger, N., Zwahlen, F. 1998: Practical guide, Groudwater vulnerability mapping in karstic regions (EPIK). Bern.

Goldscheider, N. 2003: The PI method. COST Action 620 – final report.

Janež, J.; Zagoda, B.; Čar, J.; Albreht, A. 2005: Strukturno kartiranje Krvavca. Geologija d. o. o., Interno poročilo projekta KATERII, arhiv IRGO. Idrija.

Ravbar, N. 2007: Vulnerability assessment and mapping for the protection of karst waters in Slovenia. Doktorska disertacija, Univerza v Gorici. Gorica.

Juvan, G. 2007: Primerjava metod določanja naravne ranljivosti na območju Krvavca. Diplomsko delo, Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani. Ljubljana.

Vias, J., M. 2003: The COP method. COST Action 620 – final report.

Vrabec, M. 2001: Strukturna analiza cone Savskega preloma med Trstenikom in Stahovico. doktorska disertacija, Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani. Ljubljana.

Vrabec, M. 2005: Strukturno kartiranje območja Krvavca. Interno poročilo projekta KATERII, arhiv IRGO. Idrija.

Zwahlen, F. (ur.) 2003: Vulnerability and Risk Mapping for the protection of Carbonate (Karst) Aquifers. COST Action 620 – final report.

UPORABA GIS-A PRI PRIPRAVI NAČRTA UPRAVLJANJA ZA KOZJANSKI REGIJSKI PARK

Barbara Ploštajner, Mojca Kunst
Kozjanski park
barbara.plostajner@kp.gov.si, mojca.kunst@kp.gov.si

UDK: 659.2:004:91(497.4Kozjansko)
COBISS: 1.17

IZVLEČEK
Uporaba GIS-a pri pripravi načrta upravljanja za Kozjanski regijski park
Javni zavod Kozjanski park kot upravljavec zavarovanega območja s statusom regijskega parka je moral v skladu s predpisi o ohranjanju in varstvu narave vzpostaviti bazo podatkov in pripraviti osnutek načrta upravljanja. Edino dobro poznavanje stanja v prostoru lahko vodi k učinkovitemu upravljanju z zavarovanim prostorom, izvajanju monitoringa in pripravi načrta upravljanja. Čeprav je v prvi fazi zelo pomembno delo na terenu, pa so v nadaljevanju ustrezna obdelava, vrednotenje in analiza podatkov tisti procesi, ki nas pripeljejo do izdelave učinkovitega in v praksi uresničljivega načrta upravljanja.
V prispevku je prikazana uporaba GIS orodij za izvedbo posameznih nalog in projektov.

KLJUČNE BESEDE
Kozjanski park, geografski informacijski sistem, digitalizacija podatkov, načrt upravljanja

ABSTRACT
The use of GIS in preparing the Kozjanski regional park management plan
In accordance with the regulations on the protection and conservation of nature, the Kozjanski Park Public Institute, which manages a protected area designated as a regional park, was required to establish a database and draw up a draft management plan. Effective management, monitoring and planning rely on a thorough knowledge of the protected area. Although field work is important at the initial stage, it is the professional processing, evaluation and analysis of data that enable the production of an effective management plan that can be successfully used in practice.
The article describes the use of GIS tools for individual tasks and projects.

KEY WORDS
Kozjanski Park, geographic information system, data digitalisation, management plan

1 Uvod

Kozjanski park je bil ustanovljen leta 1981 kot Spominski park Trebče (Zakon o Spominskem parku Trebče, UL SRS 1/1981). Leta 1999 se območje preimenuje v Kozjanski park (Zakon o ohranjanju narave, UL RS 56/1999) in dobi status širšega zavarovanega območja – regijski park. Regijski park je območje regijsko značilnih ekosistemov in krajine z večjimi deli prvobitne narave in območji naravnih vrednot, ki se prepletajo z deli narave, kjer je človekov vpliv večji, vendarle pa z naravo uravnotežen. Upravljavec zavarovanega območja je postal Javni zavod Kozjanski park, ki opravlja varstvene, strokovne, nadzorne in upravljavske naloge. Med nalogami, ki se neposredno ali posredno nanašajo na uporabo GIS-a, so stalno spremljanje in analiziranje stanja narave in naravnih vrednot na zavarovanem območju, izvajanje varstvenih ukrepov, pripravljanje in vzdrževanje poti in označb ter druge infrastrukture, ki je namenjena obisku zavarovanega območja ter upravljanje z bazami podatkov. Tako kot narodni park mora tudi regijski park imeti načrt upravljanja (53. člen Zakona o ohranjanju narave).

Načrt upravljanja je programski akt za zavarovano območje, ki določa varstvene in razvojne usmeritve, načine rabe ter upravljanja ter podrobnejše usmeritve za varstvo naravnih vrednot.

Za pripravo načrta upravljanja in dejansko upravljanje zavarovanega območja je nujno potrebno celovito poznavanje stanje narave, posegov in dejavnosti na obravnavanem območju. Naloga javnega zavoda Kozjanski park kot upravljavca je bila zbrati in vzpostaviti bazo podatkov. V prispevku želimo prikazati način zbiranja podatkov, izpostaviti nekatere primere in uporabo zbranih podatkov pri postopku priprave načrta upravljanja. GIS orodja smo uporabljali pri vnosu, obdelavi in analizi zbranih podatkov. Obdelane podatke smo uporabili pri členitvi območja Kozjanskega parka na upravljavska območja in upravljavske razrede za potrebe načrta upravljanja. (točneje napisati uvod, kaj s področja GIS-ov je predstavljeno v članku!)

2 Zbiranje podatkov

Od leta 1999 s pridobitvijo statusa regijskega parka se je v Kozjanskem parku izkazala potreba po podatkih oziroma poznavanju stanja narave, naravnih vrednot, habitatov. Kozjansko je bilo v raziskovalnem smislu neke vrste »črna luknja« v Sloveniji, raziskave na, predvsem naravoslovnem področju, so bile zelo skope. Glede na geografsko lego Kozjanskega, ki v geomorfološkem smislu leži na stiku dveh velikih enot, (pred)alpske in (sub)panonske, v zoogeografskem in fitogeografskem smislu pa na stiku predalpske, subpanonske in preddinarske regije, je bilo pričakovati visoko stopnjo biotske raznovrstnosti.

Vsebinski okvir podatkovnih baz, ki jih oblikujemo z raziskovanjem terena, določa Zakon o ohranjanju narave. To so predvsem podatki o:

- naravnih vrednotah,
- habitatnih tipih,
- ekološko pomembnih območjih,
- območjih Nature 2000,
- rastlinskih in živalskih vrstah in njihovih habitatih,
- gozdu,
- vodovju,
- kulturni dediščini ter
- poselitvi.

Nekatere podatke smo pridobili iz že obstoječih baz podatkov, za katere so pristojne posamezne, predvsem javne, službe npr. za kartografske podlage Geodetska uprava Republike Slovenije, za podatke o gozdovih Zavod za gozdove Republike Slovenije, za podatke o rabi tal Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, za geološke podatke Geološki zavod, za pedološke podatke Center za pedologijo in varstvo okolja na BTF, za podatke o naravnih vrednotah in Naturi 2000 Zavod Republike Slovenije

za varstvo narave, za podatke o vodah Agencija RS za okolje, za podatke o kulturni dediščini Zavod Republike Slovenije za varstvo kulturne dediščine.

Podatke, ki niso bili na voljo, smo pridobili s terenskim delom. Pri terenskem delu smo si pomagali s TTN 1 : 5000, ortofoto posnetki in GPS-om. Terensko delo smo opravljali v okviru redne dejavnosti in v okviru raziskovalnih delavnic v povezavi z različnimi fakultetami.

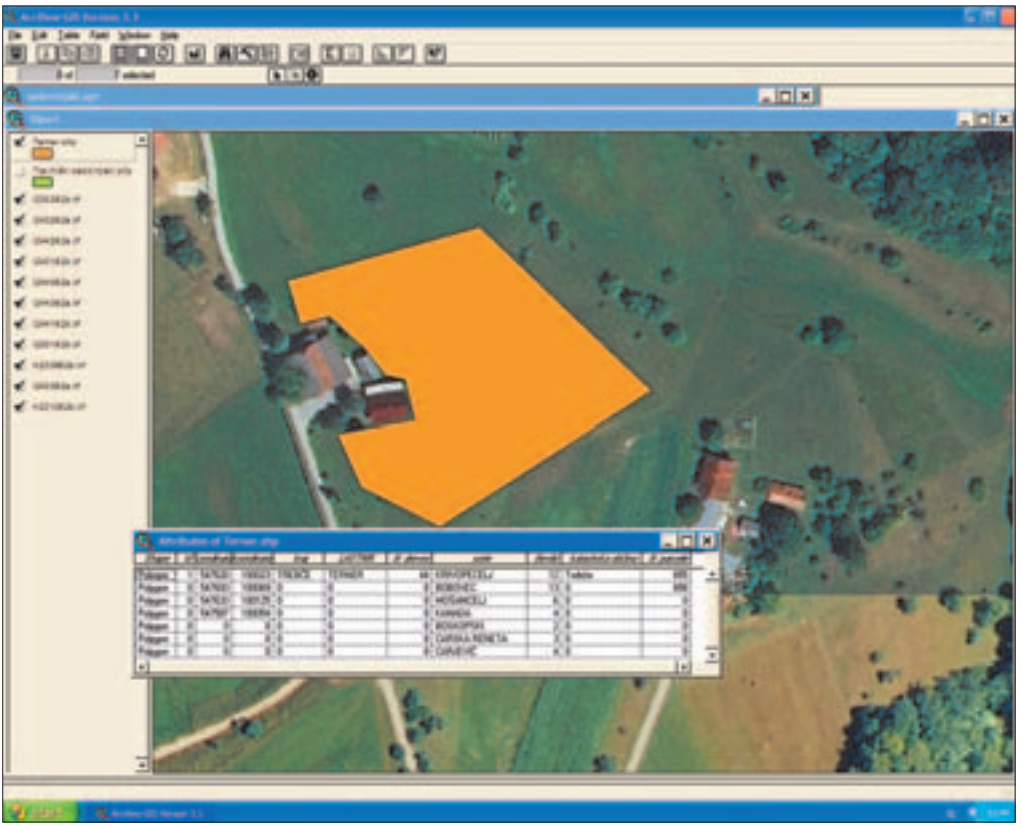
S terenskim delom smo evidentirali in dokumentirali kamnolome, travniške sadovnjake, suhe travnike, kraške pojave in parkovno infrastrukturo.

3 Vnos podatkov v digitalno bazo

Digitalizirali smo kartografske (prostorske) in atributne podatke ter slikovno gradivo, večinoma fotografije.

Digitalizacijo kartografskih in atributnih podatkov smo izvedli s pomočjo orodja ArcView. Poleg atributnega dela smo v digitalno bazo pri določenih podatkih vnesli tudi povezavo z digitalno fotografijo. Kot podlage pri digitalizaciji podatkov smo uporabljali digitalne ortofoto posnetke, digitalni zemljiški kataster, temeljne topografske načrte 1 : 5000 in državno topografsko karto 1 : 25000.

Med zajetimi geoinformacijskimi podatki bomo izpostavili evidentiranje in dokumentiranje ekstenzivnih vidokodebelnih travniških sadovnjakov, polnaravnih suhih travišč, kamnolomov, uporabo GIS orodij pri osvešanju in izobraževanju.



Slika 1: Kartiran travniški sadovnjak s tabelo z atributnimi podatki

Predstavljenim podatkom smo pri obdelavi posvetili posebno pozornost, saj predstavljajo pomembno naravovarstveno in krajinsko kategorijo znotraj zavarovanega območja. Ti geoinformacijski podatki so ključnega pomena pri procesu priprave načrta upravljanja za zavarovano območje in v nadaljevanju za pripravo občinskih prostorskih načrtov.

3.1 Primer 1: Evidentiranje in dokumentiranje ekstenzivnih visokodebelnih travniških sadovnjakov

Namen evidentiranja in dokumentiranja je bil vzpostaviti bazo podatkov o visokodebelnih travniških sadovnjakih, ugotoviti prostorsko razširjenost sadovnjakov, število dreves in možne perspektive. Samo kartiranje je potekalo s pomočjo GPS, TTN 1 : 5000, PKN 1 : 5000 in ortofoto posnetkov. Podatke o sadovnjaku (starost dreves, sorte, gnojenje itd.) smo pridobili z intervjuji lastnikov. Zbrane terenske podatke smo digitalizirali s pomočjo GIS orodij ArcView 3.1. Vsak travniški sadovnjak je bil na terenu določen z najmanj štirimi koordinatami, ki smo jih prenesli v točkovni *shape file*. Dobili smo poligone sadovnjakov s spremljajočo atributno tabelo.

S pomočjo analiziranih podatkov smo določili ukrepe in projekte za ohranitev visokodebelnih travniških sadovnjakov kot elementa ohranjanja biotske raznovrstnosti in estetske vrednosti krajine. Ukrepi, ki so sledili, so bili vzpostavitev stikov z lastniki, vzpostavitev drevesnice, predelava jabolk v jabolčni sok, izvajanje vsakoletne oživitvene rezi dreves, vsakoletna izvedba prireditve Praznik kozjanskega jabolka, ustanovitev Društva Kozjanske jabke ter partnerstvo v projektu INTERREG III B SLO-HR.

Visokodebelni travniški sadovnjaki so razpoznavna in nepogrešljiva sestavina podeželske kulturne krajine in predstavljajo izredno pomemben habitat, predvsem z vidika Direktive o ohranjanju prostoživečih ptic (*Council Directive 79/409/EEC on the Conservation of Wild Birds – »The Bird Directive«*), kajti tu gnezdijo nekatere vrste ptic, ki so že ogrožene ali redke – vijeglavka (*Jynx torquilla),* rjavi srakoper *(Lanius colluri),* srednji detel *(Dendrocopos medius), pogorelček (Phoenicurus phoenicurus)* in še druge.

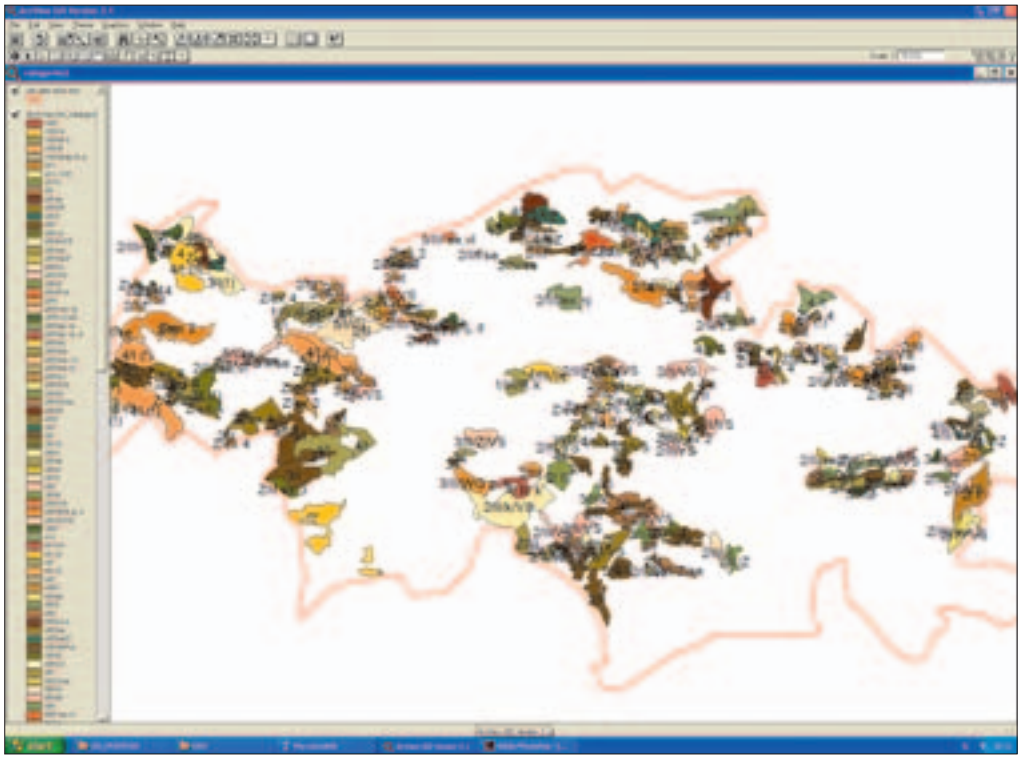
3.2 Primer 2: Projekt Life Narava: Ohranjanje in vzdrževanje visokih suhih travnikov na Vetrniku in Oslici

Osnovni cilj projekta je bil učinkovito upravljati z enim najpomembnejših območij suhih travnikov v Sloveniji, kakor tudi v centralni Evropi ter vzpostaviti načine in metode za preprečevanje zaraščanja suhih travišč z namenom ohranjanja visoke stopnje biodiverzitete rastlin in živali (npr. globalno ogrožena vrsta kosec, *Crex crex* in divje orhideje, ki so na Rdečem seznamu ogroženih vrst).

Kartiranje oziroma klasifikacija suhih travnikov se je izvajala s terenskim delom v sodelovanju s Pedagoško fakulteto (Oddelek za biologijo) iz Maribora, s pomočjo ortofoto posnetkov, TTN 1 : 5000, PKN 1 : 5000. S pomočjo digitalnega katastrskega načrta smo pridobili podatke o lastništvu travniških parcel. Po vzpostavitvi stika z lastniki smo pričeli z vnosom najnujnejših ukrepov za ohranjanje in vzdrževanje suhih travnikov v atributno bazo GIS orodja ArcView 3.1. Na osnovi teh ukrepov smo sklenili dogovore z lastniki o plačilu nadomestil za vsakoletno košnjo in ohranjanje ekstenzivnosti travnika, vključitev v SKOP (Slovenski kmetijsko-okoljski program), renaturacije (odprava zaraščanja – čiščenje grmovja oziroma košnja). S pomočjo GIS orodij ArcView 3.1 izvajamo monitoring – spremljanje površine, klasifikacije in lastništva renaturiranih travnikov; spremljanje površine, klasifikacije in lastništva travnikov vključenih v SKOP program ter spremljanje površine, klasifikacije in lastništva travnikov vključenih v LIFE program.

Projekt LIFE Narava je namenjen ohranjanju 500 ha suhih travišč znotraj Kozjanskega parka.

Njihova izjemnost se kaže v velikem številu rastlinskih in živalskih vrst, med katerimi so mnoge redke vrste. Po Direktivi o ohranjanju naravnih habitatov ter prosto živečih živalskih in rastlinskih vrst (*The Council Directive 92/43/EEC on the Conservation of Natural Habitats and of Wild Fauna and Flora – »The Habitat Directive«*) so suhi travniki prioritetni habitat, klasificirani pod oznako 34.31 Pol-naravna suha travišča na karbonatni podlagi (*Festuco – Brometalia*). Koda Natura 2000 travnikov je 6210.



Slika 2: Kategorizacija suhih travnikov na Vetrniku in Oslici.

Klasifikacija in tipologija suhih travnikov projektnega območja (po Kaligarič in Škornik 2001):

- Horizontalna klasifikacija je tipologija, omejena na fitocenološko raven zveze, ki dobro opredeljuje floristični inventar, reakcijo podlage (pH) in trofični nivo travišč. Možne so tudi prehodne oblike med zvezami.
- Vertikalna klasifikacija vsake od enot horizontalne (vsebinske) tipologije je v bistvu subjektivna ocena – naravovarstvena kategorizacija petih, po horizontalni tipologiji razvrščenih travišč. Pomeni osnovo za kategorizacijo travišč v naravovarstveno »pomembnejše« v smislu visoke diverzitete, redkosti, posebnosti, reprezentativnosti, ki so indikatorskega pomena za tradicionalno kulturno krajino, ki jo kot kompleks želimo varovati tudi v smislu trajnostnega razvoja območja.

  Vertikalna klasifikacija – tipologija (Kaligarič in Škornik 2001):
  Cynosurion/Arrhenatherion
- Arrhenatherion (N2000 = 6510)
  – združba Pastinaco-Arrhenatheretum
- Arrhenatherion / Mesobromion (N2000 = 6210/6510)
  – združba Ranunculo bulbosy-Arrhenatheretum
- Mesobromion (N2000 = 6210)
  – združba Onobrychido viciifoliae-Brometum
  – združba Scabioso hladnikianae-Caricetum humilis
- kisli Mesobromion (N2000 = 6210)
  – združba Bromo-Danthonietum calycinae
- Violion (N2000 = 6230)

3.3 Primer 3: Evidentiranje in dokumentiranje kamnolomov in drugih površinskih kopov

Zaradi neurejenega stanja na področju rabe mineralnih surovin, ki je običajno naravovarstveno in okoljevarstveno problematična, smo se lotili evidentiranja in dokumentiranja vseh kamnolomov in površinskih kopov znotraj zavarovanega območja.

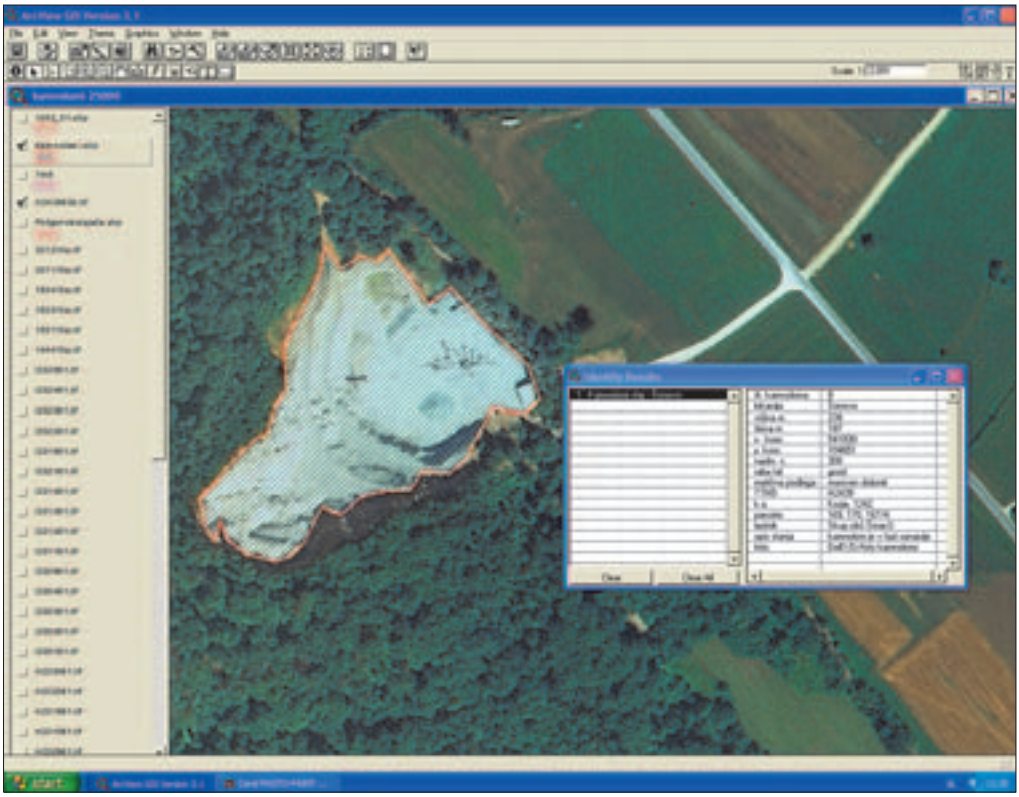
Delo je potekalo v naslednjih fazah:

- groba ocena stanja s pomočjo ortofoto posnetkov,
- terensko delo,
- vnos podatkov v digitalno bazo.

Za učinkovito terensko delo smo izdelali terenski list, ki je vseboval naslednje podatke:

- številko kamnoloma,
- lokacijo,
- okvirno višino in širino,
- koordinate,
- nadmorsko višino,
- rabo tal in matično podlago,
- skico, opis stanja in
- fotografijo.

Na terenu smo si pomagali z GPS, TTN 1 : 5000 in geološko karto 1 : 100.000.



Slika 3: Evidentiran in dokumentiran kamnolom z atributnimi podatki.

Terenske podatke smo sprotno vnašali v digitalno bazo s pomočjo GIS orodja ArcView 3.1. Poleg obstoječih podatkov smo s pomočjo digitalnega katastrskega načrta določili še katastrsko občino in parcelno številko in ugotoviti lastništvo parcele na kateri se kamnolom oziroma površinski kop nahaja.

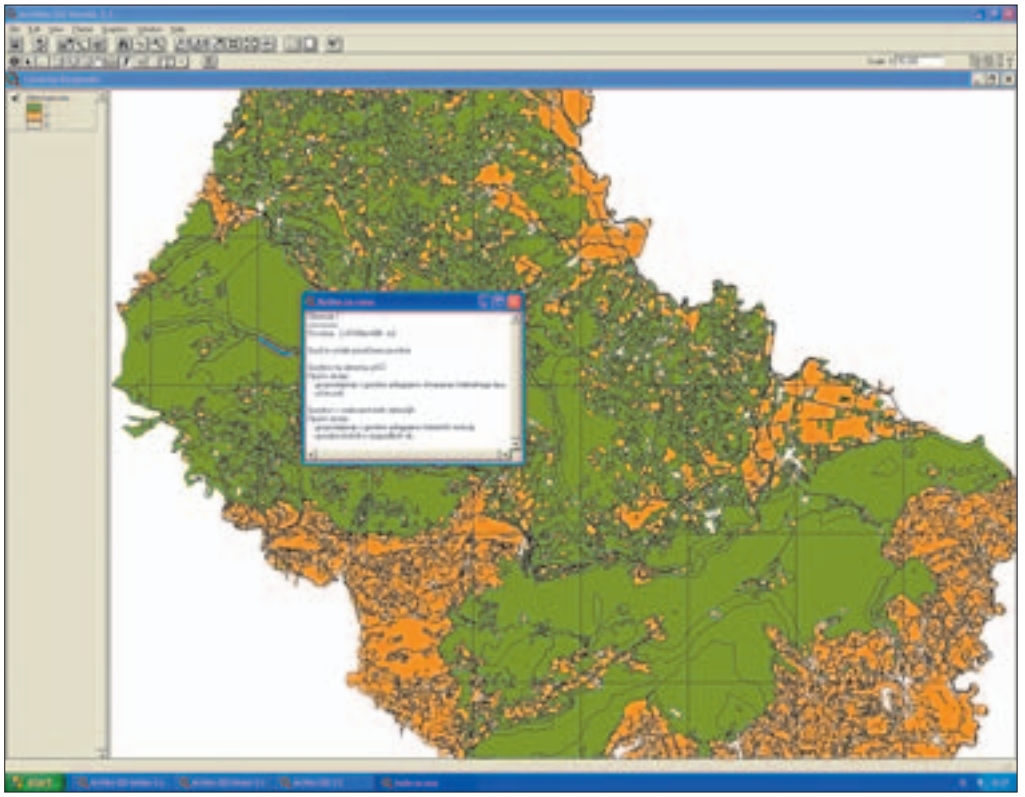
Tako zbrani podatki so nam služili za navezavo stikov z lastniki oziroma prostorskimi načrtovalci znotraj lokalnih skupnosti, s katerimi skušamo doseči dogovor, da se nenadzorovani kopi ne bi več pojavljali znotraj zavarovanega območja. Slediti moramo namreč enemu od ciljev varstva narave, to je ohranjanje krajine ob upoštevanju načel trajnostnega razvoja. V okviru tega cilja je potrebno premišljeno usmerjati dejavnosti, ki imajo velike negativne posledice za naravo in krajino, kar kamnolomi in ostali površinski kopi nedvomno so.

4 Priprava načrta upravljanja

Za pripravo načrta upravljanja je bilo potrebno najprej urediti bazo podatkov. V prvi fazi smo podatke analizirali, dobili smo posamezne sloje.

Metodologijo za pripravo kartografskega dela načrta upravljanja smo pripravili s podjetjem Oikos (svetovanje za razvoj, d. o. o.) kot svetovalcem pri pripravi načrta upravljanja.

Glede na cilje upravljanja smo Kozjanski park delili na tri upravljavska območja, za katera se določijo splošni cilji. Prvo upravljavsko območje je tam, kjer je visoka gostota naravnih vrednot in kulturna



Slika 4: Upravljavska območja in upravljavski razredi.

dediščina državnega pomena, gozdni rezervati, varovalni gozd, rastišča in ožji habitati ogroženih in redkih vrst, del območij NATURE 2000 (IUCN kategorija I, II, III, IV). Drugo upravljavsko območje predstavlja značilna in ohranjena kulturna krajina (IUCN kategorija V in VI) s posameznimi območji Natura 2000 ter naravne dediščine in objekti kulturne dediščine. Tretje upravljavsko območje je razvojno območje s posameznimi naravnimi vrednotami in objekti kulturne dediščine. Upravljavska območja se delijo naprej na upravljavske razrede, za katere se določijo natančnejši režimi oziroma ukrepi.

Za osnovo smo vzeli digitalno karto rabe tal, ki jo je izdalo Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (2004). To karto smo prekrivali z ostalimi sloji: območji Nature 2000, območji naravnih vrednot in kulturne dediščine, območji gozdnih rezervatov, varovalnih gozdov, vodovarstvenimi območji, območji vodotokov in izvirov, poplavnimi območji, geomorfološkimi oblikami, območji travniški sadovnjakov in suhih travnikov, infrastrukturo in poselitvijo, turistično infrastrukturo, prostorskimi plani itd. Problem se je pojavil pri prekrivanju s prostorskimi plani. Območje Kozjanskega parka leži v petih lokalnih skupnostih, ki so imele prostorske plane v osnovi narejene analogno in so jih kasneje digitalizirali. Digitalizacija oziroma posamezne sestavine planov po posameznih lokalnih skupnostih niso bile poenotene. Sestavine prostorskih planov, ki smo jih potrebovali kot prekrivajoči sloj, so bile poselitev in infrastruktura. Najprej je bilo potrebno iz petih prostorskih planov (za vsako posamezno lokalno skupnost) dobiti enoten sloj, ki ga je bilo možno učinkoviti prekriti z ostalimi sloji.

Ob prekrivanju slojev so se območjem pripisovali atributi iz prekrivajočih slojev, ki so podlaga za oblikovanje splošnih režimov oziroma ukrepov za posamezno območje oziroma upravljavski razred. S pomočjo prekrivanja slojev smo opredelili naravovarstveno najvrednejša območja.

5 Uporaba posebnih tematik pri osveščanju in izobraževanju

S pomočjo GIS orodij smo na podlagi zbranih podatkov izdelali tri praktične primere.

V prvem primeru smo s pomočjo ortofoto posnetkov z vrisanimi kamnolomi in ostalimi površinskimi kopi pripravili navidezni prelet nad zavarovanim območjem. S tem izdelkom želimo predvsem osvestiti prebivalce o tem, kako nenadzorovani kopi obremenjujejo krajino kot vidne rane v prostoru.

Drugi in tretji primer pa smo izdelali izključno kot dopolnilo izobraževalni dejavnosti. Eden prikazuje meandre reke Sotle drugi pa traso geološke učne poti.

6 Sklep

Uporaba geoinformacijskih tehnologij Javnemu zavodu Kozjanski park kot upravljavcu zavarovanega območja omogoča:

- vzpostavitev digitalnih baz podatkov (kartografskih, atributnih in slikovnih),
- primerjavo in prekrivanje različnih slojev,
- spremljanje stanja narave in posegov v prostor,
- določitev upravljavskih območij oziroma razredov,
- določitev con oziroma najvrednejših območij,
- določitev ukrepov za ohranjanje ugodnega stanja narave in
- popularizacijo varstva narave.

Poleg neobhodnega terenskega dela nam prav geoinformacijske tehnologije omogočajo učinkovito uporabo in predstavljanje pridobljenih podatkov. V nadaljevanju bomo poleg dopolnjevanja baze podatkov delo na področju GIS-ov posvetili monitoringu stanja narave in posegov v prostor ter predstavljanju zavarovanega območja oziroma posameznih strokovnih vsebin, ki jih v konkretnem prostoru ni vedno možno najti.

Z vidika upravljavca zavarovanega območja je uporaba GIS-a za celovito poznavanje prostora ter učinkovito upravljanje z zavarovanim območjem nujna. Čeprav v Sloveniji večina zavarovanih območij pripravlja svoje načrte upravljanja, še vedno ni enotnih navodil za pripravo le teh. V prihodnje bi bilo potrebno pripraviti poenoteno shemo za obvezne sestavine načrta upravljanja, zbrani podatki znotraj posameznih zavarovanih območij pa bi morali biti tudi medsebojno primerljivi.

7 Viri in literatura

Interno gradivo Kozjanskega parka.

Environmental System Reserach Institute, Inc, 1991–1996I: GIS by ESRI: ArcView GIS, The Geographic Information System for Everyone.

Kaligarič M., Škornik S. 2001: Tipologija, klasifikacija in kartiranje travnikov na območju Vetrnik-Oslica v Kozjanskem parku. Strokovni elaborat, Kozjanski park.

Kaligarič M., Škornik S. 2002: Naravovarstveni management na traviščih območja Vetrnik–Oslica (Kozjanski park). Strokovni elaborat, Kozjanski park.

Zakon o ohranjanju narave. Uradni list Republike Slovenije 56/1999)

Geotrip '99 v Sloveniji. Ministrstvo za okolje in prostor – Uprava republike Slovenije za varstvo narave. Ljubljana.

DOLOČANJE OBMOČIJ KRAJEVNIH GOVOROV ZA SLOVENSKI LINGVISTIČNI ATLAS

dr. Tomaž Podobnikar
Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU
Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, Vienna University of Technology, Dunaj, Avstrija
tp@zrc-sazu.si

dr. Jožica Škofic, Mojca Horvat
Inštitut za slovenski jezik Frana Ramovša ZRC SAZU
guzej@zrc-sazu.si, mojca.horwat@gmail.com

UDK: 811.163.6'282
COBISS: 1.16

IZVLEČEK
Določanje območij krajevnih govorov za Slovenski lingvistični atlas
V raziskavi smo opredelili območja krajevnih govorov iz mreže Slovenskega lingvističnega atlasa (SLA) z modeliranjem v geografskih informacijskih sistemih (GIS). SLA je geolingvistični projekt, ki ga je že v 30-ih letih 20. stoletja zasnoval Fran Ramovš. Eden od ciljev tega podprojekta je analiza vplivnih območij krajevnih govorov in oblikovanje njihovih meja, kar bo omogočalo natančnejšo določitev poteka izoglos med njimi, to pa bo omogočalo tudi boljše razumevanje posameznih krajevnih govorov. Pri analizah z GIS smo poleg znotrajjezikovnih upoštevali tudi zunajjezikovna, t. j. geografska in zgodovinska dejstva, ki so vplivala na oblikovanje posameznih govorov. Meje med govori smo določili s tehnikami izdelave inovativnih prostorskih spremenljivk, ki upoštevajo geografske kriterije na podlagi podatkov naselij v Sloveniji.

KLJUČNE BESEDE
Slovenski lingvistični atlas, geolingvistika, dialektometrija, digitalni model reliefa, prostorska analiza, meje

ABSTRACT
Areas of local dialects for Slovenian linguistic atlas determination
The aim of our study is determination of the local speeches areas using a Slovenian Linguistic Atlas (SLA) with support of modelling in geographical information system (GIS). SLA is a geolinguistic project designed by Fran Ramovš in 1930s. One of the aims of this subproject is the impact areas analysis of local speeches and designing of the delimitation that will facilitate more precise determination of the isoglosses between them. This task will make possible a better understanding the nature of particular speeches. Various evidences that influenced to formation of the particular speeches have been analysed with GIS: besides of intra-linguistic as well extra-linguistic facts, i. e. geographical and historical. The borders between the speeches were selected through the innovative variables producing, which describe possible delimitations considering geographical criteria on the basis of database of settlements in Slovenia.

KEY WORDS
Slovenian Linguistic Atlas, geolinguistics, dialectometry, digital terrain model, spatial analysis, boundaries

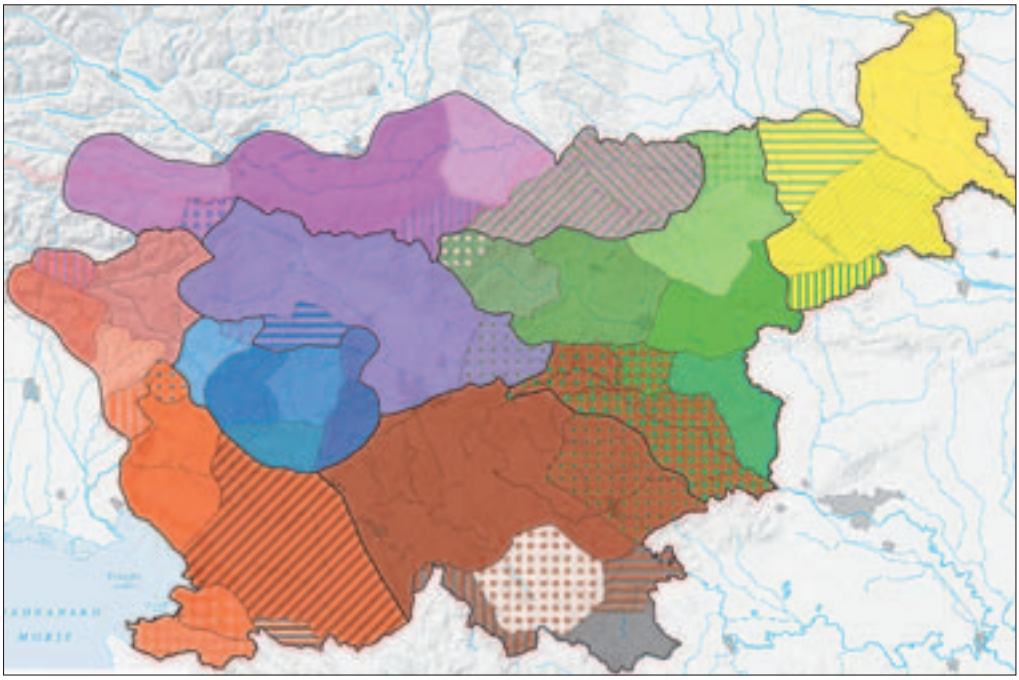
1 Uvod

V prispevku je predstavljen način določanja območij krajevnih govorov iz mreže Slovenskega lingvističnega atlasa (SLA) s pomočjo geografskih informacijskih sistemov (GIS). SLA je projekt, ki ga je že v 30-ih letih 20. stoletja zasnoval Fran Ramovš, konec leta 2009 pa je predviden izid 1. zvezka z besedjem iz pomenskega polja človek. V zadnjih letih so sodelavci pri projektu digitalizirali vse gradivo za ta zvezek. Izvedli so vnos v podatkovno bazo SlovarRed, skeniranje listkovnega in zvezkovnega gradiva, urejanje (novejšega) zvočnega gradiva ter s pomočjo zunanjih sodelavcev pripravili različna programska orodja za računalniško kartiranje (Škofic 2006). Atlas bo ob narečnem gradivu in jezikoslovnem komentarju zbrano besedje namreč prikazal tudi na jezikovnih kartah, kar bo omogočalo tudi različne dialektometrične raziskave in primerjavo z ugotovitvami drugih znanosti (ob uporabi zgodovinskih, etnoloških, botaničnih kart ipd.).

Eden od ciljev raziskave je analiza (vplivnih) območij krajevnih govorov in oblikovanje njihovih meja z neprimerno večjo natančnostjo kot do sedaj (prej ranga merila 1 : 350.000, sedaj okoli merila 1 : 25.000), kar bo omogočalo natančnejšo določitev poteka izoglos med njimi, to pa bo pomagalo tudi pri boljšem razumevanju posameznih krajevnih govorov. Pri tem upoštevamo različna dejstva, ki so vplivala na oblikovanje in obseg posameznih krajevnih govorov, to pa so poleg znotrajjezikovnih tudi zunajjezikovna, tj.:

- geografska (zemljepisna razčlenjenost – gore in geomorfologija, močvirja, obširni gozdovi, reke) in
- zgodovinska (različne smeri slovanske naselitve, stiki s staroselci ter sosednjimi narodi in njihovimi jeziki, politično- in cerkvenoupravne meje, kolonizacije).

V novejšem času je vse več raziskav na področju dialektometrije, predvsem na področju iskanja značilnosti in podobnosti narečij, v čemer so močni tudi GIS. Dialektometrija je namreč raziskovanje podobnosti narečij v metričnem geografskem prostoru. Danes potekajo dialektometrične raziskave ob



Slika 1: Karta slovenskih narečij (Škofic-Pehani-Smole), posodobljena po Logarju in Riglerju (1983).

uporabi digitalnih prostorskih podatkov in z modeliranjem v geografskih informacijskih sistemih (GIS). Z načeli problematike samodejne določitve meja, s ciljem boljše definicije območij slovenskih narečij pri uporabi GIS (lingvistična geografija), se je prvi ukvarjal Stančič (1996). Pri tem je samodejno kartiral izbrane narečne izraze. Osnove za računalniško podprte analize v dialektometriji v svetovnem merilu je postavil Goebl (1982; 2000; 2003), ki jih je testiral na narečjih Italije in Francije. Faze v dialektometriji opredeljuje (Goebl 2008): (1) ročno ali samodejno združevanje v skupine glede na fonetične, morfo-sintaktične ali leksikalne kriterije, (2) merjenje podobnosti med posameznimi lokacijami pri uporabi različnih mer in (3) numerična klasifikacija oz. segmentacija narečij glede na njihove podobnosti ter vizualizacija rezultatov. Omeniti velja raziskavo Nerbonne et al. (2007), v kateri je na dialektih Nemčije in Bolgarije analizirana primerjava dveh algoritmov združevanja v skupine ob upoštevanju različnih lastnosti narečij.

V prispevku nas zanima predvsem izdelava prostorskih spremenljivk, ki bi bile lahko uporabne za natančnejše kartiranje meja in hkrati vsaj delno omogočale avtomatizacijo pri določitvi meja med narečji. Spremenljivke generiramo z izkoriščanjem analitičnih sposobnosti GIS. Analitično izračunane meje lahko primerjamo z mejami naselij, cerkvenoupravnimi mejami in deželnimi mejami. S prekrivanjem različno pridobljenih meja se tako lažje odločamo pri določanju vplivnih območij posameznih krajevnih govorov, pa naj bodo odločitve samodejne ali »ročne«. Kot pomemben rezultat pričakujemo uporabne in poučne primerjave med jezikoslovnimi ugotovitvami in podatki, ki jih lahko dajo analize, narejene s pomočjo GIS, tj. ugotavljanje prekrivnosti narečnih meja z mejami naselij, reliefnimi dejavniki, zgodovinskimi mejami ipd. Za študijsko območje so bila izbrana območja slovenskih narečij v Sloveniji, Italiji, Avstriji, na Madžarskem in Hrvaškem (slika 1).

2 Indikatorji meja med narečji

Iz dialektološke literature je znano, da je na narečno členitev slovenskega jezika vplivalo več dejavnikov. V prispevku bomo izpostavili predvsem naravne, tj. geografske, omenili pa še nekatere druge dejavnike in zanje navedli nekaj neproblematičnih primerov, potrjenih v dialektoloških raziskavah.

2.1 Opredelitev indikatorjev slovenskih narečij

Prva diferenciacija slovenskega jezika sega v zgodnjo dobo njegovega formiranja iz praslovanščine, najverjetneje pa je posledica prihoda Slovanov v vzhodne Alpe v dveh naselitvenih tokovih – s severa prek Donave v Celovško kotlino, z juga ob Savi, Dravi in Muri navzgor do Alp in Krasa (tudi po starih rimskih cestah). Po naselitvi ob koncu 6. stoletja sta se do konca prvega tisočletja oblikovala jugovzhodni in severozahodni slovenski narečni prostor. V prvem je nastajala panonska narečna skupina, oblikovala so se štajerska, dolenjska in gorenjska narečja, na /severo/zahodu pa koroška, primorska in najmlajša rovtarska (Zorko 1998, 115). Tako veljajo danes npr. Rateče, ki so bile podobno kot Kanalska dolina naseljene s Koroške, za tipičen koroškoziljski govor, ločen od gorenjskega. Kraj je bil v preteklosti prometno in kulturno povezan z Ziljo in Koroško sploh (Logar 1996, 40). Po drugi strani pa je slovanska naselitev Slovenskih goric potekala v okviru panonskega naselitvenega vala, ki je poselil predvsem gričevje ob srednji Dravi, srednji Muri in zgornji Rabi. Krepkeje so Alpski Slovani naselili Haloze, južno in zahodno obrobje Dravskega polja med Ptujem in Mariborom ter zahodne Slovenske gorice, medtem ko je bi njihov vzhodni del od črte Ptuj–Radgona naseljen v obdobju mlajših slovenskih kolonizacij (Koletnik 2001, 31).

Kasneje so na narečno členitev slovenščine vplivali še drugi geografski in zgodovinski dejavniki, ki pa jih ni mogoče obravnavati izolirano, saj gre največkrat za njihov preplet – politično- in cerkvenoupravne delitve so namreč pogosto potekale prav po naravnih mejah, določale so tudi migracije in promet. Tako so npr. na razširjenost štajerskih narečij in govorov vplivale stoletja trajajoče politično- in cerk-

venoupravne meje, ki so se večinoma naslonile na gorovja, hribovja in reke, zato gorenjsko narečje od štajerskega še danes deli nekdanja kranjsko-štajerska deželna meja, potekajoča od Kamniških planin v jugovzhodni smeri na Zasavsko hribovje (Logar 1996, 392).

Za enega najpomembnejših dejavnikov dialektizacije slovenskega jezika se je izkazala geografska razgibanost slovenskega prostora. Naravne ovire, kot so gorovja, doline, močvirja, gozdovi, so namreč preprečevale stike in s tem komunikacijo med ljudmi, kar je pospešilo jezikovno diferenciacijo in s tem oblikovanje narečij in govorov.

Tako meje med nekaterimi slovenskimi narečji potekajo po visokih gorah. Hribovje na črti Snežnik–Javorniki–Hrušica–Nanos je izoblikovalo mejo na eni strani med dolenjskim in notranjskim narečjem, na drugi strani pa med skupino rovtarskih narečij in notranjskim narečjem (Logar 1993, 6). Tudi meja na črti Kanin–Stol–Mija–Matajur tvori ločnico med obsoškim in beneško-slovenskim narečjem (Logar 1993, 6).

Nekatera narečja so omejena na manjša območja, ki so se izoblikovala zaradi geografske zaprtosti njihovih govorcev v doline, omejene z visokimi gorami. Rezijansko narečje se govori v Reziji, gorski alpski dolini v provinci Videm v Italiji, ki ga od obsoškega narečja na vzhodu loči visoko Kaninsko pogorje, kjer je tudi državna meja med Slovenijo in Italijo, od terskega narečja na jugu pa ga delijo prav tako strmi in visoki Muzci. Na severu je med Rezijani in Ziljani na Koroškem širok in hribovit pas, poseljen sedaj z romanskimi Furlani. Rezijanska dolina je tako odprta edino proti zahodu, proti Furlaniji, vendar tam ni Slovencev, s Furlani pa imajo Rezijani že stoletja največ stikov (Logar 1996, 232). Tudi na oblikovanje kroparskega govora je vplivala geografska zaprtost v ozko dolino Kroparice pod Jelovico (Škofic 2001, 23). Raznolikost posavskih govorov v Zasavju (Trbovlje, Zagorje in Hrastnik) je prav tako posledica zaprtosti v posamezne kotline, obdane s hribovjem, ki dosega tudi prek 1000 metrov nadmorske višine (Medved in Smole 2005, 71).

Tudi obširna močvirja in gozdovi so imeli v preteklosti pomembno vlogo pri narečni diferenciaciji slovenščine. Tako meja med gorenjskim in dolenjskim narečjem poteka po nekoč neprehodnem Ljubljanskem barju (Logar 1993, 7), na Sorškem polju pa so komunikacijo preprečevali obširni, skorajda neprehodni gozdovi, zato se je tam oblikovala meja med gorenjskim in rovtarskim narečjem. Razmejitev je ostra, brez prehodnih govorov, saj so gozdovi nekoč ločevali okolico Kranja in Medvod od Škofje Loke in bližnje okolice s tedaj mešanim slovensko-nemškim prebivalstvom (Logar 1993, 7). Podobno vlogo so imeli tudi kočevski gozdovi in geografska odmaknjenost onstran Gorjancev pri nastanku govorov Bele krajine, ki je bila na eni strani ločena od ostalih delov Slovenije, na drugi strani pa povezana s sosednjimi hrvaškimi pokrajinami (Logar 1996, 79).

Izjemoma se v dialektološki literaturi kot naravni dejavnik narečne členitve slovenščine pojavljajo tudi razvodnice. Tako npr. sega srednjesavinjsko narečje ob Bolski do razvodnice med Dreto in Bolsko, v šoštanjski okolici pa do razvodnice med Savinjo in Pako (Logar 1996, 49).

Poleg navedenih naravnih dejavnikov pa so narečno podobo slovenskega jezika sooblikovali tudi drugi dejavniki: cerkveno- in političnoupravna delitev, kolonizacije, turški vpadi, gospodarska povezanost krajev in pokrajin itd.

Teritoriji posameznih fará (če so stare) so pogosto območja, na katerih so se razvili posamezni govori, saj je v starejših obdobjih prav farno središče postalo pogosto tudi upravno-politično središče, ki je usmerjalo promet in komunikacijo med ljudmi (Logar 1993, 6). Tako se je npr. zgornjesavinjsko narečje v okviru štajerskih govorov izoblikovalo na ozemlju, ki je bilo v 12. stoletju last benediktinskega samostana v Gornjem Gradu in tudi razmejitev med spodnjesavinjskimi in srednještajerskimi govori poteka po črti, ki je nekoč delila ozemlje dveh prafara: laške in ponkovske (Logar 1993, 6). Farne meje so določile še meje prekmurskega dolinskega podnarečja, ki obsega območje nekdanje turniške pražupnije (Novak in Novak 1996, XI), prav tako se farne meje ujemajo z mejami prleškega juršinskega krajevnega govora (Škofic 2004, 104) itd.

Nekdanja (in tudi sedanja) političnoupravna delitev je v slovenskem jezikovnem prostoru pustila velik pečat in med narečja zarisala ostre meje. Tako je npr. zahodna meja savinjskega narečja hkrati

vzhodna meja gorenjščine, poteka namreč po nekdanji kranjsko-štajerski deželni meji, od Okrešlja, preko Ojstrice na Črnivec, Menino planino in Čemšeniško planino (Logar 1996, 48). Tudi meja med notranjščino in kraščino sega v čas Velike Karantanije, ko je na tej črti potekala ločnica med furlansko in istrsko marko. V Vipavski dolini pa poteka meja po razdelitvi fevdalnih gospostev, ki je bila postavljena na Vrtovinšček, in sicer v koncu prvega tisočletja (Logar 1996, 66). Meja med vzhodnim in zahodnim slovenskogoriškim podnarečjem poteka po zgodovinski meji med Karantanijo in Spodnjo Panonijo, ki je potekala po črti Marija Snežna–Sv. Ana na Krembergu–Sv. Trojica–Vurberk ob Dravi (Koletnik 2001, 38).

Enega od dejavnikov narečne diferenciacije predstavljajo tudi novejše kolonizacije, zlasti priseljevanja neslovanskih kolonistov – tako sta med drugimi nastala tudi baški govor in selško narečje: hribovito in gozdnato nenaseljeno področje ob zgornji Bači in njenih pritokih na Primorskem je bilo najkasneje okoli leta 1250 kolonizirano z nemškimi kmeti iz Pustertala na Tirolskem. To ozemlje je tedaj spadalo pod tolminsko gospostvo oglejskega patriarha. Kolonizacijo je izvedel oglejski patriarh Bertold (Logar 1996, 157). 1283. leta pa je brižinski škof Emiho na levem sorškem bregu naselil nemške koloniste iz Innichena na Tirolskem. Tako so nastale naselbine: Sorica, Dane, Trojar, Zabrdo, Torka, Ravne, Prtovč, Podlonk, Zalilog. V sredi 14. stoletja so dobili posestva v Železnikih in Jesenovcu furlanski fužinarji. Pokrajina na desnem bregu Sore pa je vse do 16. stoletja ostala prazna. Šele po 1560 se je pričela krčitev: v Podporeznu so krčili Nemci iz Podbrda pod Črno prstjo, v Davči podložniki tolminskega gospostva, v Martinj Vrhu pa Poljanci. Ta kolonizacija je bila zaključena v 17. stoletju (Ramovš 1931, 50).

Za nastanek nekaterih slovenskih narečij so imeli odločilno vlogo tudi turški vpadi, ki so močno vplivali na jezikovno podobo npr. Bele krajine, kjer se je v 15. in 16. stoletju začela spreminjati sestava prebivalstva. Ob tem naj pojasnimo, da so geografske ovire Belo krajino ločevale od drugih delov sedanje Slovenije in jo močneje privezovale na sosednje pokrajine onkraj Kolpe. Zato je razumljivo, da je Bela krajina svoje prvo slovansko prebivalstvo dobila z iste strani kot sosednji hrvaški kraji. Do 13. stoletja je bila Bela krajina v političnem, kulturnem in prometnem pogledu hrvaška dežela. Šele po tem času je prišla v območje slovenskih političnih in kulturnih jezikovnih vplivov (Logar 1996, 79). S turškimi vpadi je avtohtono, vsaj do neke mere že slovenizirano belokranjsko prebivalstvo začelo zapuščati svoja stara prebivališča in se umikati proti severu čez Gorjance. To velja zlasti za bolj nižinsko in obkolpsko območje, medtem ko so prebivalci višjih, obrobnih hribovskih delov verjetno ostali tam, kjer so bili, pri tem pa sprejeli medse še begunce iz južnih krajev. Na drugi strani pa so se na deloma izpraznjene dele Bele krajine priselili begunci iz hrvaških pokrajin, Like, Dalmacije in Bosne. Današnji belokranjski govori so zato nastali na osnovi mešanja starega prebivalstva z begunci iz južnih krajev ter slovenskih priseljencev novejše dobe (Logar 1996, 79).

Navedeni primeri dokazujejo, da so dialektizacijo slovenskega jezikovnega prostora pospeševali različni dejavniki, ki so tako ali drugače omejevali ali onemogočali komunikacijo med ljudmi. Nasprotno pa je gospodarski dejavnik imel izrazito združevalno funkcijo: npr. pokrajina okoli Tolmina in ob reki Idrijci je bila posebna administrativna enota oglejskega patriarhata. Po svojih upravnih in trgovskih zadevah je bila zato v stalni prometni povezavi z zahodnimi centri: Videm, Čedad, Oglej, kamor je vodila cesta čez Srednje in po dolini reke Idrije. Tudi trgovinska izmenjava, še bolj pa planinarstvo je povezovalo Tolminsko z Bohinjskim kotom in pa s Selško dolino (Ramovš 1931, 45). Gospodarstvo je torej ponekod močno vplivalo na gravitacijo prebivalstva – tako se je oblikoval tudi kroparski krajevni govor. Kropa, ki je bila od 16. do srede 19. stoletja na višku železarstva (imela je dve fužini in več železarskih obratov), je pritegovala veliko delovne sile tudi s Koroške in iz Selške doline, tako mešanje prebivalstva kot pestrost njihovih govorov pa sta seveda močno vplivala tudi na oblikovanje krajevnega govora (Škofic 2001, 22).

2.2 Spremenljivke geografskih indikatorjev

Spremenljivke naravnih, natančneje, geografskih indikatorjev za območje SLA smo izdelali ob uporabi digitalnega modela reliefa Slovenije ločljivosti 25 m (DMV 25, november 2005, © Geodetska uprava RS)

Slika 2: Območja pomembnejših porečij v Sloveniji.

in podatkov rečne mreže. Spremenljivke, ki prikazujejo porečja, razvodnice, rečno mrežo in geomorfološko karto, poskušajo zadostiti nekaterim geografskim indikatorjem.

2.2.1 Porečja

Porečje ali širše, povodje, je območje, s katerega odteka voda (padavine) v isti rečni sistem. Skrajni zgornji del porečja imenujemo povirje. Porečja so ločena z razvodji oz. razvodnicami. Pri zelo nizkih razvodjih se lahko zgodi, da odteka reka ob visoki vodi v dve porečji. Poznamo tudi razvodnice na kraškem območju, ki potekajo pod zemeljsko površino.

Porečja smo izračunali s standardnimi funkcijami v GIS-u. Pred tem smo sloj DMV-ja priredili tako, da smo izločili depresije brez odtokov. Rezultati, ki jih da funkcija določanja območij porečij, so zelo odvisni od razsežnosti obravnavanega območja. V primeru, da analiziramo le del porečja, kar se dogaja na robovih študijskega območja (slika 2), pride do fragmentacije porečij na manjša rečja.

Primerjava karte slovenskih narečij s slojem pomembnejših porečij v Sloveniji (slika 2) v splošnem ne potrjuje vzročno-posledične povezanosti med obema. Tako npr. porečje Mure sega precej daleč v Slovenske Gorice, medtem ko meja med prleškim in prekmurskim narečjem poteka prav po reki, ki je bila v tem delu do konca 1. svetovne vojne tudi mejna reka med Ogrsko in Avstrijo. Tudi porečje reke Drave zajema dele različnih narečnih skupin (koroške, štajerske, panonske), meje med njimi pa ne sovpadajo z mejami tega porečja. Meja med porečjema Mure in Drave nekako med Šentiljem in Olševo pa se ujema s slovensko-nemško jezikovno mejo. Podobno kot dravsko tudi porečje reke Save zajema različne narečne skupine (gorenjsko, dolenjsko, del rovtarske in štajerske), z narečnimi mejami pa deloma sovpada le na skrajnem severozahodu slovenskega jezikovnega prostora, kjer porečje omejujejo Karavanke in Julijske Alpe, te pa so hkrati tudi zahodna meja obsoškega narečja nekako do Tolmina (medtem ko sicer soško porečje zajema mnogo večje ozemlje in sega tudi daleč v sosednji romanski

Slika 3: Razvodnice v Sloveniji. Temnejše predstavljajo daljše in s tem pomembnejše razvodnice.

jezikovni prostor). Le porečje istrskih vodotokov pa se ujema tudi z mejami istrskega narečja (tu se geomorfološki dejavniki ujemajo z mejami porečja).

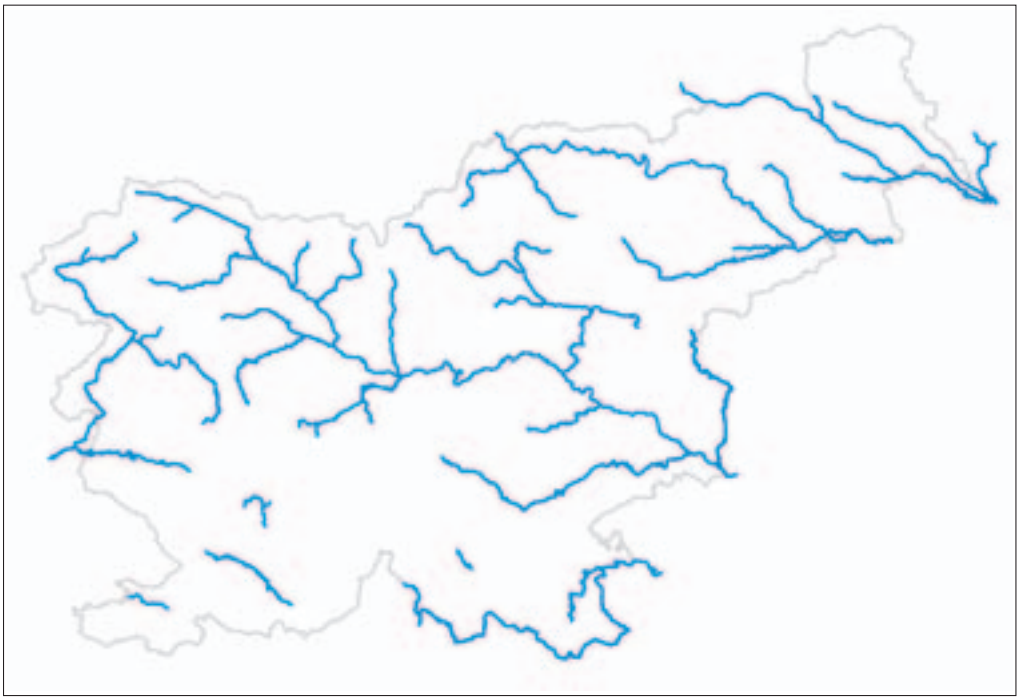
2.2.2 Razvodnice

V razdelku 2.2.1 smo navedli, da so porečja ločena z razvodji oz. razvodnicami. Črte razvodnic smo izračunali v povezavi z mejami med manjšimi rečji. Čim daljša je bila razvodnica, višjo atributno vrednost smo ji pripisali. Na sliki 3 so pomembnejše, daljše in s tem tudi relativno višje (višinsko) razvodnice prikazane z močnejšo črto, krajše, manj pomembne in relativno nižje pa so manj vidne.

Primerjava med karto slovenskih narečij in slojem razvodnic (slika 3) kaže nekaj zanimivih sovpadanj. Tako po pomembnejših razvodnicah (pogosto povezano s težje prehodnimi grebeni) poteka npr. meja med gorenjskim in obsoškim ter gorenjskim in koroškim narečjem, med istrskim in notranjskim narečjem ter med terskim in obsoškim narečjem, deloma med kraškim in rovtarskim narečjem, prav tako tudi med dolenjskim in notranjskim narečjem, nekako med Olševo in Mislinjo po razvodnici poteka tudi meja med koroškim mežiškim in štajerskim zgornje- in srednjesavinjskim narečjem, po razvodnici oz. gorskih vrhovih poteka tudi meja med gorenjskim in štajerskim savinjskim narečjem. V dolinah porečja Nadiže se govori nadiško narečje, v dolini reke Rezije pa rezijansko narečje. Druge razvodnice se, kot kaže, ne ujemajo z narečnimi mejami (tudi ne npr. razvodnica med Muro in Rabo, saj se na obeh straneh govori prekmursko narečje).

2.2.3 Rečna mreža

Rečna mreža, ki smo jo pripravili in predstavili na sliki 4 prikazuje ročno digitalizirane pomembnejše vodotoke na območju Slovenije. Na sliki 5 je prikazana simulacija akumulacije voda v namišljene rečne struge pri uporabi DMR. Rdeče črte pomenijo območja z več akumulacije, torej večjo zbiralno



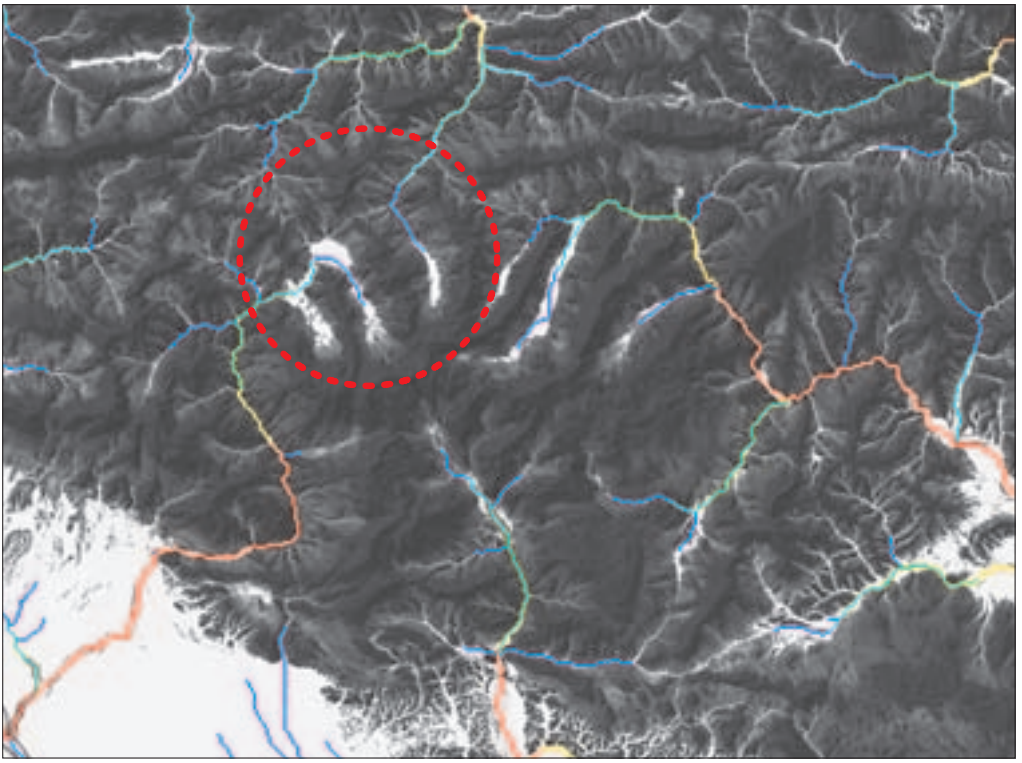
Slika 4: Pomembnejše reke v Sloveniji.

površino. Za ozadje je v sivih tonih prikazana spremenljivka odprtosti oz. prehodnosti območja. Bolj je površina svetla, večja je prehodnost območja. Če so svetle črte neprekinjene prek grebena, pomeni, da gre za prelaz, ki je lažje prehoden, potencial izmenjave prebivalstva prek tega območja pa je večji.

Rečna mreža (slika 4) je manj pomemben dejavnik pri oblikovanju narečij, saj reke večinoma niso predstavljale komunikacijske ovire (razen če je po njih potekala tudi upravna meja, kot npr. po Muri med Avstrijo in Ogrsko, kjer poteka tudi meja med prekmurskim ter slovenskogoriškim in prleškim narečjem, ali po Savi vzhodno od Brežic med Štajersko in Kranjsko, kjer se stikata štajersko in dolenjsko posavsko narečje). Sava je bila od Litije do Brežic pomemben gospodarski dejavnik, ki je povezoval prebivalce z obeh bregov reke, zato se je tu na stiku med dolenjskim in štajerskimi narečji oblikovalo prehodno posavsko narečje z nekaterimi skupnimi značilnostmi. Primerjava z narečno karto (Logar in Rigler 1983) kaže, kot da po rekah Sotli in Kolpi poteka tudi slovensko-hrvaška jezikovna meja, vendar pa zlasti novejše dialektološke raziskave potrjujejo dejstvo, da gre tu za politično postavljeno mejo, medtem ko narečja te meje prehajajo in so enaka na obeh straneh rek. Kot izrazito povezovalna se kaže tudi rečica Rižana, v katere porečju se govori istrsko rižansko narečje.

Na sliki 5 je prikazana simulacija akumulacije voda v namišljene rečne struge pri uporabi DMR. Rdeče črte pomenijo območja z več akumulacije, torej večjo zbiralno površino. Za ozadje je v sivih tonih prikazana spremenljivka odprtosti oz. prehodnosti območja. Bolj je površina svetla, večja je prehodnost območja. Če so svetle črte neprekinjene prek grebena, pomeni, da gre za prelaz, ki je lažje prehoden, potencial izmenjave prebivalstva prek tega območja pa je zato večji.

Na karti je lepo vidno območje Jezerskega, od koder se vode akumulirajo skozi dolino Kokre proti Gorenjski, in Belske Kočne, od koder se stekajo proti koroški Železni Kapli. Zgodovinski podatki potrjujejo predvidevanje, da je bilo Jezersko v preteklosti preko Jezerskega sedla (na tej karti vidno kot tanka bela črta med Jezerskim in Belo) bolj navezano na bližnjo Železno Kaplo (oba kraja sta pripa-



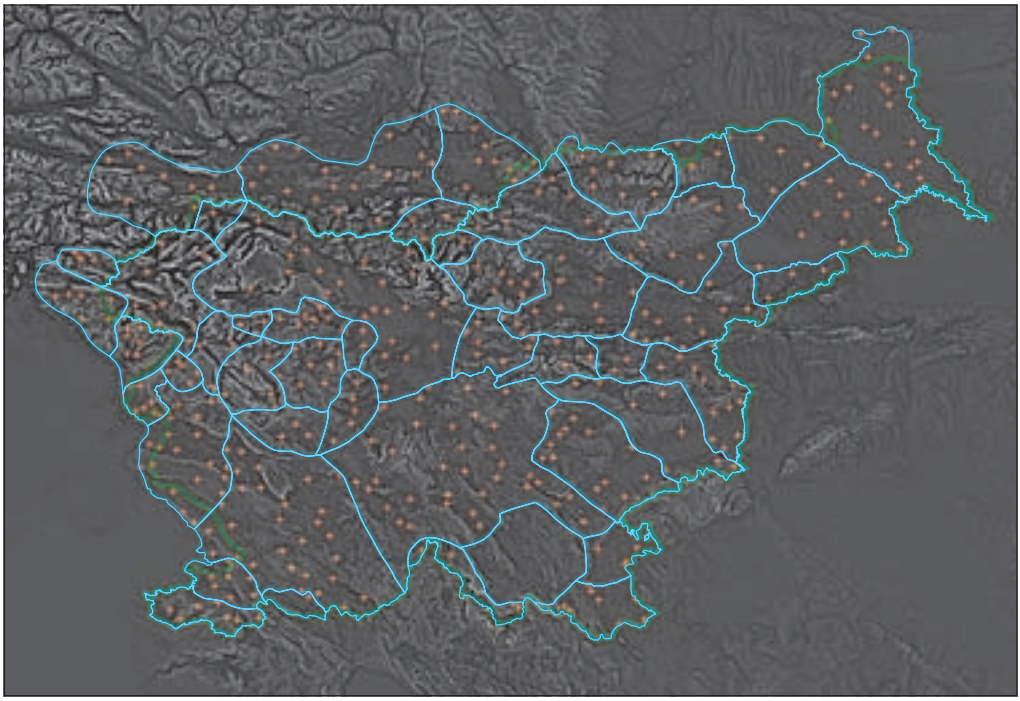
Slika 5: Akumulacija na območju Kamniških Alp. Modra črta pomeni povezavo z manjšo akumulacijsko površino, rdeča pa z večjo. Za ozadje so v sivih tonih v svetlejših odtenkih predstavljena bolj odprta območja, po katerih je komunikacija prebivalstva potencialno enostavnejša.

dala deželi Koroški) kot na bolj oddaljeni Kranj, saj je bila soteska Kokre do začetka 20. stoletja skorajda neprehodna (z Gorenjsko/Kranjsko pa so bili Jezerani vendarle gospodarsko povezani z dolino ob zgornjem toku Kokre od sotočja z Jezernico do Komatevre in preko planine Fevče ter po dolini Tržiške Bistrice) (Karničar 1997). Taka geografska in z njo povezana politično-upravna povezanost Jezerskega z najbližjimi večjimi kraji se odraža tudi v jezerskem krajevnem govoru, v katerem se obirsko koroško narečje prepleta z (novejšimi) gorenjskimi narečnimi značilnostmi.

2.2.4 Geomorfološka razčlenjenost površja

Geomorfološko razčlenjenost določenega območja lahko izpostavimo in prikažemo na mnogo načinov. V našem primeru smo izdelali t. i. relativni relief, ki predstavlja različna odstopanja glede na navidezno srednjo ploskev površja (Podobnikar 2008). S svetlejšim odtenkom smo prikazali vrednosti, ki so relativno nad navidezno srednjo ploskvijo površja, in s temnejšim vrednosti pod to ploskvijo. Izrazito temnejša območja pomenijo glede na bližnjo okolico globlje doline, svetlejša pa izrazitejša gorovja (slika 6). Spremenljivka je bila izračunana z inovativnim pristopom analize geomorfoloških značilnosti v GIS. Spremenljivka je uporabna tudi za natančnejše določanje meja glede na svetlejša vršna ter temnejša dolinska območja. Na sliki 6 je prikazana povezava spremenljivke s podatki obstoječih narečnih mej (Logar in Rigler 1983) ter s 406 točkami SLA.

Geomorfološka razčlenjenost slovenskega prostora (slika 6) se pogosto pokriva z mejami slovenskih narečij (to potrjuje tudi primerjava med narečno karto in karto naravnogeografskih regij

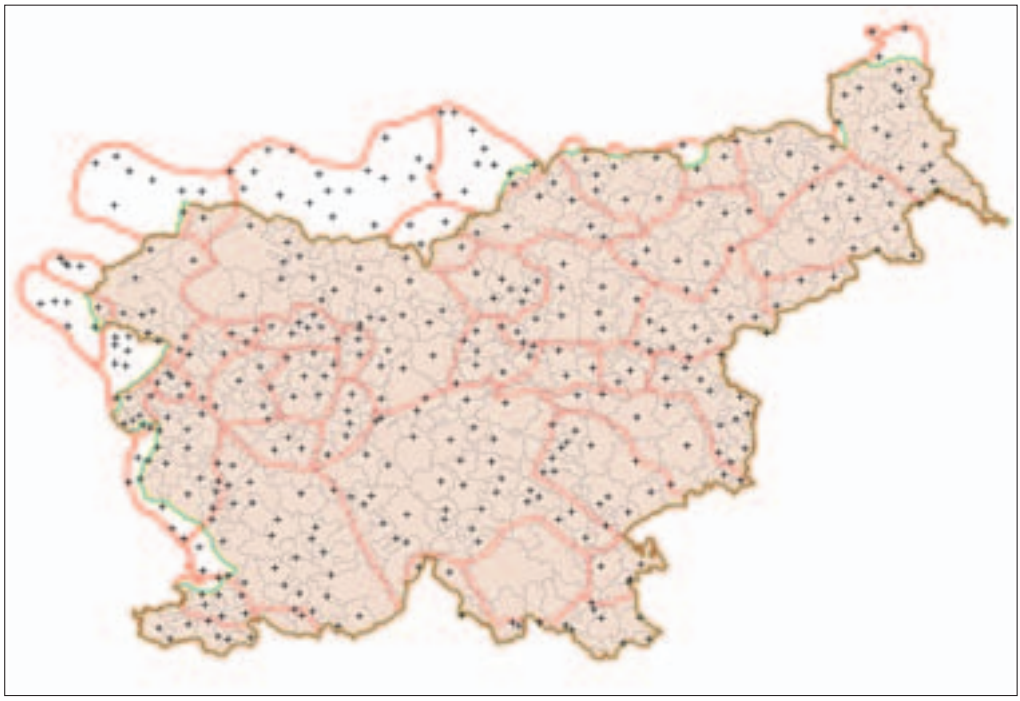


Slika 6: Geomorfološka razčlenjenost površja. Območja t. i. relativnega reliefa, ki bolj odstopajo od povprečja (so bolj razgibana), prestavljajo izrazitejše naravne prepreke. Območja dolin so temnejša, grebenov svetlejša. Prikazane so obstoječe meje narečij (modra črta) ter 406 točk SLA.

Slovenije). Med najočitnejše gotovo spada meja med gorenjskim in koroškim narečjem, ki poteka po vrhovih Karavank, kjer pa se ta gorska veriga na zahodu zniža in postane preko gorskih sedel in prečnih dolin prehodnejša, se tudi narečna meja spremeni – v okolici Kranjske Gore in Rateč na Gorenjskem se tako že govori koroško ziljsko narečje. Po vrhovih, ki ločujejo Bohinjsko dolino od Selške in Baške, poteka meja med gorenjskim ter selškim in rovtarskim tolminskim narečjem – meje rovtarskih narečij se večinoma vsaj približno ujemajo z mejami alpskega hribovja zahodno od Ljubljane in Škofje Loke, ki je bilo do 17. stoletja težko dostopna in zato neobdelana pokrajina, kasneje kolonizirana z Nemci. Zelo očitna je tudi meja med notranjskim in dolenjskim narečjem, ki poteka po visokih dinarskih planotah od Hrušice preko Javornikov do Snežnika, gorska veriga Kanina, Matajurja, Kolovrata pa deli obsoško narečje od rezijanskega in beneškoslovenskih narečij. Približno po rekah Idrija in Soča, ki omejujeta Goriška Brda, poteka meja, ki briško narečje ločuje od sosednjih (nadiškega in kraškega), na posebni geografski enoti sta vezani tudi haloško narečje, ki se govori v Halozah, in belokranjsko narečje v Beli krajini.

2.3 Spremenljivke drugih indikatorjev

Določanje meja krajevnih govorov lahko oplemenitijo podatki o območjih naselij (© Geodetska uprava RS), katerih meje so se oblikovale v preteklih stoletjih (slika 7). Meje narečnih skupin, prikazane tudi na tej karti (s križci so označene točke iz mreže SLA), se pogosto vsaj v grobem ujemajo z mejami naselij, vendar bo prav tu potrebnega še veliko natančnega predvsem sociolingvističnega in dialektološkega raziskovanja. Podatek o območjih naselij lahko pomaga pri določanju območij krajevnih govorov



Slika 7: Meje naselij (podrobna siva črta). Prikazane so tudi obstoječe meje narečij (groba rdeča črta).

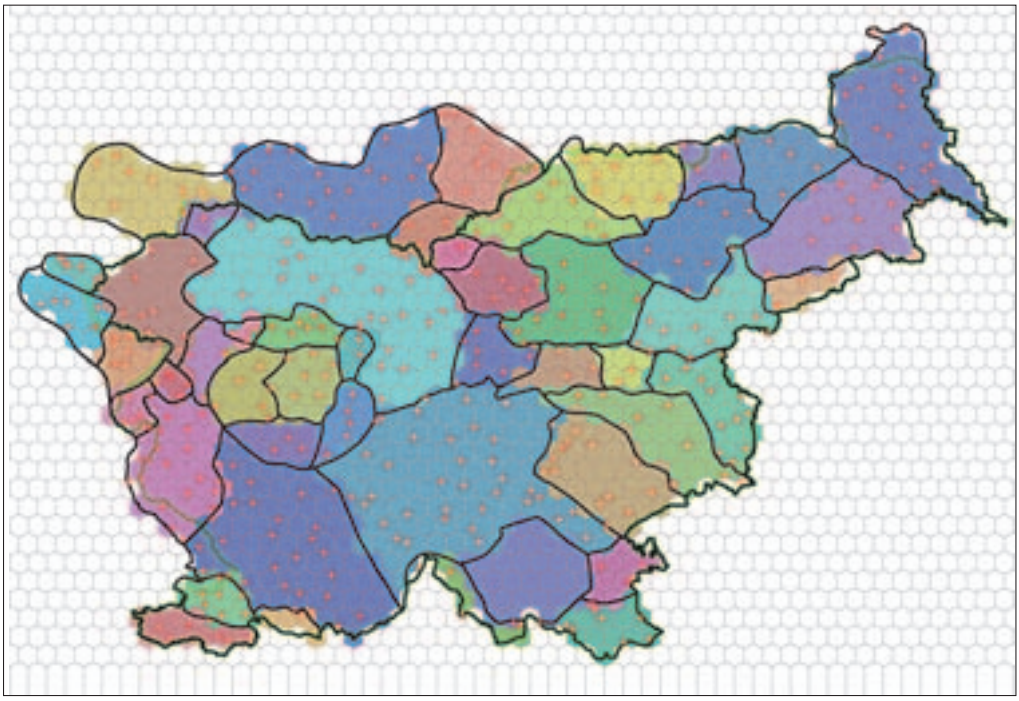
le deloma, in sicer predvsem na narečnih mejah, ne pa v vseh podrobnostih. Pri tem je problematično zlasti neujemanje mreže točk SLA z mrežo naselij in dejstvo, da se meje naselij zelo redko ujemajo z mejami krajevnega govora (kot je to npr. v Kropi, T202). Mreža točk za SLA je veliko redkejša od mreže naselij (gostejša je tam, kjer so snovalci projekta želeli natančneje določiti mejo med dvema narečjema), zato predvidena vplivna območja krajevnih govorov večinoma (vendar ne nujno) segajo preko meja naselij, ponekod pa je v okviru enega večjega naselja (lahko nastalega z zlitjem središča z okoliškimi vasmi v zadnjih desetletjih) postavljenih celo več raziskovalnih točk (npr. za Ljubljano Studenec (T250) in Rudnik (T249), ni pa nobene točke v njenem severnem, tj. gorenjskem delu, medtem ko sta v Kranju raziskovalni točki Stražišče (T208) in Primskovo (T210) izbrani bolj posrečeno), v katerih naj bi se govorili različni govori – torej je mogoče predvidevati manjše območje govora, kot je območje naselja.

3 Modeliranje meja

Modeliranje narečnih meja je potekalo na osnovi indikatorjev za določanje meja med narečji. Dejavniki, ki vplivajo na dejanski potek meja, se krajevno precej razlikujejo, pravila za to pa so zelo zapletena in ne omogočajo avtomatizacije postopka natančne določitve meja. Modeliranje je potekalo v dveh stopnjah:

- samodejna,
- ročna.

Samodejna stopnja vključuje modeliranje meja na osnovi 406 točk SLA, ki smo jo demonstrirali na več načinov. Ta klasifikacija daje le grobo oceno, vendar je hkrati dodatno v pomoč kot indikator pri izvajanju ročne stopnje. Ročna stopnja se naslanja na pripis posameznih območij zbirke naselij določe-



Slika 8: Izdelava satovnice: Teselacija območij narečnih skupin na območja šestkotnikov.

nemu narečju. V pomoč so podatki, zbrani na terenu, spremenljivke geografskih ter drugih indikatorjev ter omenjeno samodejno modeliranje meja med narečji.

3.1 Samodejno modeliranje meja na osnovi narečij in 406 točk SLA

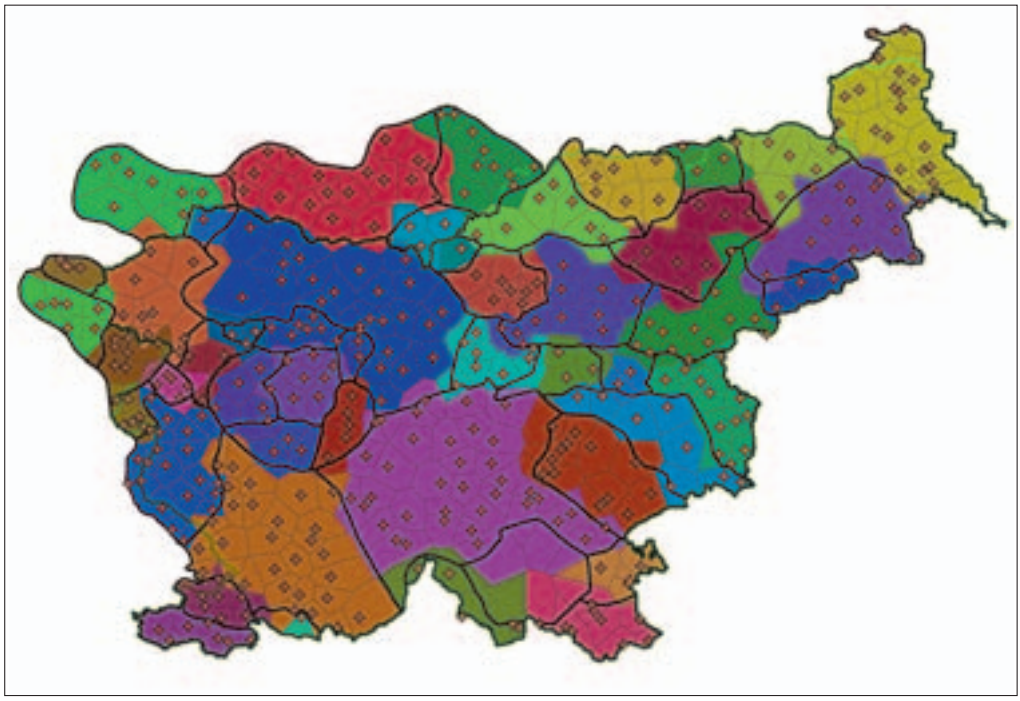
Modeliranje meja poteka na različnih teselacijah med narečji in 406 točkami SLA ter z modeliranjem vplivnih območij, pri katerih se naslanjamo na evklidsko geometrijo med posameznimi točkami ter na modeliranje ob upoštevanju DMR Slovenije.

3.1.1 Teselacija na območja šestkotnikov

Izvedli smo teselacijo celotnega študijskega območja na območja šestkotnikov (satovnica) s 5 km rastrom. Glede na položaj centroidov posameznih šestkotnikov smo jim pripisali posamezne narečne skupine z uporabo starih podatkov na Karti slovenskih narečij (slika 8). S tem smo dobili potencialne meje glede na pripadnost prvotnim mejam narečnih skupin, ki so na Karti slovenskih narečij začrtane v skladu z dognanji dialektoloških raziskav. Ta poskus je pomemben v smislu homogene generalizacije območij slovenskih narečij, ki omogoča izvajanje določenih prostorskih analiz, vezanih na enakomerna pravilna območja.

3.1.2 Teselacija 406 točk SLA s Thiessenovimi poligoni

Teselacijo na potencialne meje narečij v okolici 406 centroidov točk SLA smo izvedli s Thiessenovimi poligoni (ali Voronoievimi poligoni, Dirichletovimi celicami). Pri tej operaciji nismo upoštevali geografskih značilnosti reliefa. Poligone smo klasificirali na narečne skupine, kot so prikazane na Logar-Riglerjevi narečni karti iz l. 1983 in dopolnjene l. 2006 (slika 9). Thiessenovi poligoni so enostavna metoda določitve območij oddaljenosti (Burrough in McDonnell 1998). S to metodo ločimo enakovredne toč-



Slika 9: Teselacija območij narečnih skupin in narečij s Thiessenovimi poligoni.

kovne pojave med seboj. Rezultat so neprekinjeni poligoni oziroma mnogokotniki, ki razmejujejo vsak točkovni pojav od sosednjih tako, da so vse točke v notranjosti posameznega mnogokotnika najbližje pripadajočemu tokovnemu pojavu (kot centroidom posameznih mnogokotnikov).

Kot najbolj problematično se na sloju slike 9 kaže območje mešanega kočevskega govora, ki je glede na Thiessenove poligone avtomatično razdeljeno med štiri sosednja narečja (dolenjsko, južno- in severnobelokranjsko ter kostelsko), saj na tem območju ni raziskovalnih točk SLA (gre namreč za t. i. območje mešanih kočevskih govorov, ki so ga do 2. svetovne vojne poseljevali nemški kolonisti, kasneje pa so se na izpraznjeno ozemlje priselili ljudje iz različnih slovenskih pokrajin, zato se tu ne govori nobeno avtohtono slovensko narečje). V nadaljevanju bo območje mešanega kočevskega govora treba obravnavati kot poseben poligon z mejami, kot so prikazane že na narečni karti in usklajene z mejami naselij.

3.1.3 Stroškovne ploskve okoli 406 točk SLA

Naslednji poskus samodejne določitve meja je izračun stroškovnih ploskev. Količino, ki opredeljuje tak strošek na obravnavanem območju, imenujemo upor (Tomlin 1990) in jo opredelimo z dodelitvijo različnih vrednosti uteži. Učinkovitost določitve uteži je odvisna od ciljev analize. Stroškovno ploskev oziroma ploskev enake porabe energije izračunamo pri upoštevanju vrednosti »stroška« glede na izhodiščno točko. V našem primeru je strošek gibanje po terenu, ki ga opredelimo z naklonom reliefa pri uporabi DMR. Slika 10 prikazuje stroškovne ploskve za 406 točk SLA. Ploskve z daljšim dosegom v določeni smeri pomenijo manj razgiban teren v okolici posamezne točke in hkrati s tem na nek način indikator pripadnosti določenemu narečju oz. krajevnemu govoru. Na območjih, kjer so območja bolj fragmentirana in manjša, lahko zelo pavšalno sklepamo na možnost, da je tam več narečij. Predvsem v alpskih dolinah se območja razprostirajo vzdolž manj razgibanih dolin. Razdalje so v primeru ravnega terena klasificirane v razrede 0 do 2 km ter 2 do 5 km, sicer pa so krajše.

Slika 10: Območja enake porabe energije ob upoštevanju naklona reliefa okoli 406 točk SLA.

Ploskve z večjim dosegom, ki na nek način kažejo na pripadnost določenemu narečju oz. krajevnemu govoru in se nekatere bolj stikajo med seboj kot druge, tvorijo nekaj arealov, ki se zanimivo pokrivajo z grobo razdelitvijo slovenskih narečij na narečne skupine: primorsko (npr. z istrskim, kraškim, notranjskim narečjem ter bolj razdrobljenimi govori obsoškega in beneškoslovenskih narečij), koroško (z bolj izoliranimi govori koroških narečij v Sloveniji), panonsko (ki je precej povezana z arealom štajerske narečne skupine) ter gorenjskim in dolenjskim narečjem; rovtarska narečja so očitno res nastala na težko dostopnem in reliefno razgibanem območju, na precejšnjo medsebojno izoliranost kažejo tudi govori posavskih narečij ter gorenjski govori v Zgornji Savski dolini in v Bohinju ter koroški govori v Sloveniji.

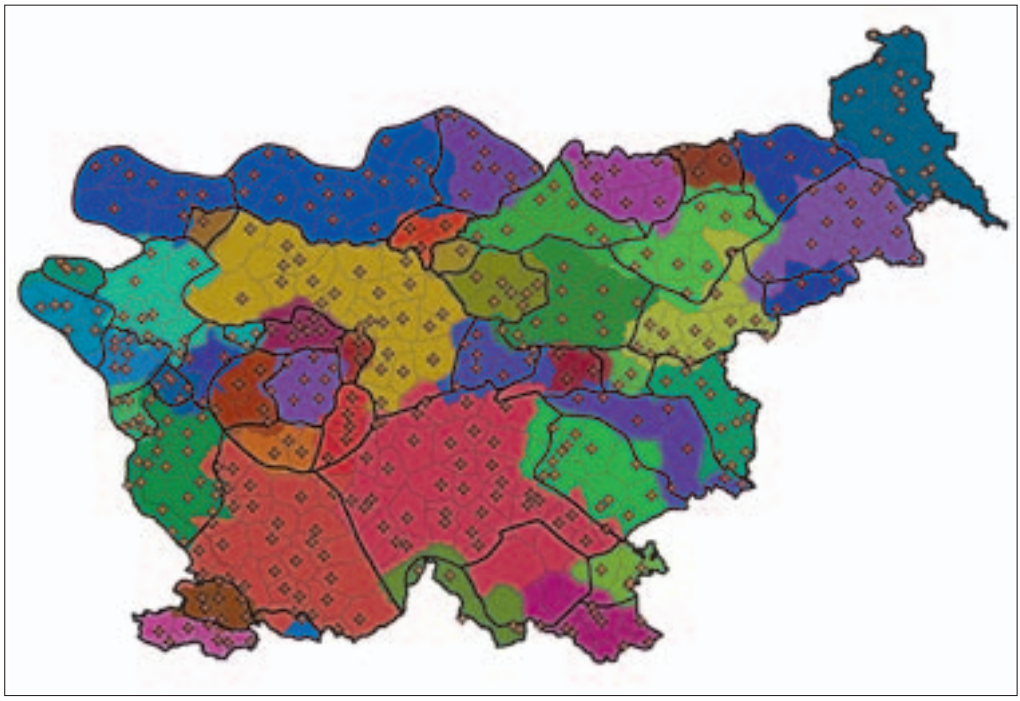
3.1.4 Teselacija 406 točk SLA z uteženimi Thiessenovimi poligoni

Rešitev naloge teselacije 406 točk SLA z uteženimi Thiessenovimi poligoni je podobna kot v razdelku 4.1.2. Vendar smo pri razmejitvi med posameznimi točkami SLA podobno kot v razdelku 4.1.3 upoštevali utež naklona reliefa, ki smo ga izračunali iz DMR. Na sliki 11 lahko ugotovimo, da se marsikatere podrobnosti poteka meja poligonov bolje ujemajo z narečnimi mejami kot v prejšnjih poskusih (npr. meje obirskega narečja, meje zgornjesavinjskega narečja in solčavskega podnarečja, gorenjskega narečja v Bohinju).

3.2 Ročno kartiranje meja

V povezavi z izjemno zapletenostjo opredelitve indikatorjev meja slovenskih narečij, ki se lokalno nenehno spreminjajo, nam preostane, da vpeljemo ročno kartiranje meja. Najpomembnejše naloge ročnega kartiranja so:

- natančnejša določitev območij narečij,
- določitev območij krajevnih govorov v okolici točk SLA,



Slika 11: Teselacija območij narečnih skupin in narečij z utežnimi Thiessenovimi poligoni.

- natančnejša določitev območij narečnih skupin (povezava med območji govorov, ki je v tej študiji ne bomo posebej določevali).

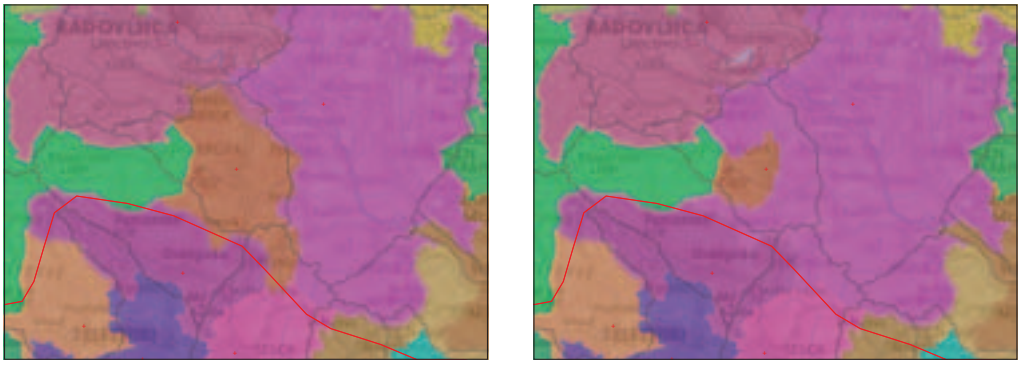
Najpomembnejši vir kartiranja so podatki, zbrani na terenu (2.1), pridobljene spremenljivke geografskih indikatorjev (2.2) ter spremenljivke drugih indikatorjev, kot so območja naselij (2.3). Prav natančno določene meje naselij smo uporabili kot osnovni sloj pri kartiranju (atributiranju) narečnih meja. V pomoč je bila predhodna približna samodejna klasifikacija meja na osnovi modeliranja v GIS (3.1).

Pri ročnem kartiranju smo kot osnovo uporabili naslednje georeferencirane sloje v GIS:

- Karta slovenskih narečij (Logar in Rigler 1983) in posodobljena verzija (Škofic 2006),
- podatki z mrežo 406 točk SLA,
- porečja (2.2.1),
- razvodnice (2.2.2),
- rečna mreža (2.2.3),
- geografska razčlenjenost površja (2.2.4),
- spremenljivke (2.3).

Navedeni sloji so služili kot vizualna podlaga za podporo pri odločanju razmejitev. Kot grob približek za atributiranje smo uporabljali Karto slovenskih narečij, pri drugih podlagah pa smo se odločali na podlagi prikaza in lokalne pomembnosti posameznih spremenljivk.

Metodologija ročnega kartiranja meja temelji na urejanju (editiranju) območij naselij v Sloveniji (© Geodetska uprava RS). Gre za prepis celotnih območij naselij določenemu narečju (krajevnemu govoru) na podlagi že opisanih indikatorjev (slika 12a). V veliko pomoč je bilo, da smo območja naselij predhodno samodejno klasificirali glede na prekrivanje s teselacijami 406 točk SLA z uteženimi Thiessenovimi poligoni (3.1.4). Pri tej nalogi gre torej za kontrolo samodejne razmejitve in morebitno popravljanje atributov pripisa k določenemu govoru glede na indikatorje.



Slika 12: Kartiranje meja med narečji v povezavi s 406 točkami SLA (za območje zahodno od Ljubljane) pri uporabi predhodno samodejno klasificiranih naselij (območja različnih barv), s prikazom območij naselij (meja prikazana s svetlo sivo črto), podatki za ozadje so uteženi Thiessenovi poligoni (močna siva črta), prvotni podatki narečnih skupin (rdeča črta) ter točke SLA (rdeči križci).

Po samodejni klasifikaciji s pomočjo Thiessenovih poligonov so bila h krajevnemu govoru Krope (T202) pripisana naslednja naselja: Kropa, Kamna Gorica, Brezovica, Češnjica pri Kropi, Jamnik, Nemilje (slika 12a). Z ročnim urejanjem je bila spremenjena klasifikacija naslednjih naselij: Jamnik, Nemilje, Češnjica, Kamna Gorica in Brezovica, ki smo jih pripisali gorenjskemu krajevnemu govoru Ljubno (T203) (slika 12b). H kroparskemu govoru spada torej samo naselje Kropa v ozki dolini Kroparice pod Jelovico – prav ta geografska zaprtost pa je ob nekaterih zgodovinskih dejavnikih, vezanih nanjo, bistveno sooblikovala kroparski krajevni govor in njegov obseg (Škofic 2001, 23). Tudi sosednji naselji Srednja Dobrava in Lipnica, s Thiessenovimi poligoni pripisana krajevnemu govoru Radovljice (T201), smo ročno pripisali krajevnemu govoru Ljubno (T203).

Primer dokazuje, da samodejna klasifikacija krajevnih govorov s pomočjo Thiessenovih poligonov in GIS močno olajša določanje njihovega obsega, vendar pa je še vedno potrebno dialektološko preverjanje vsakega poligona posebej – pri tem pa posebno raziskovalno pozornost posvetiti prav »mehkim« »vmesnim prostorom prehajanja« enega narečja (oz. krajevnega govora) v drugo. Določanje »pripadnosti« najbolj problematičnih naselij (ki niso točke SLA) bo zahtevalo še dodatno zgostitev raziskovalne mreže krajevnih govorov in ugotavljanje predvsem izvenjezikovnih vzrokov za njihovo oblikovanje in obseg.

3.3 Izboljšave kartiranja in kontrola kakovosti rezultatov

Ročno kartiranje meja, ki je potekalo samo na podlagi samodejnih pripisov atributov območij naselij določenemu govoru, ima določene pomanjkljivosti. Te so:

- ne upošteva območij, kjer ni poselitve ali gre za mešane govore (npr. Kočevska),
- nekatera naselja so se razširila na račun manjših, vendar so meje med prvotnimi naselji pomembne za določanje meja med narečji (npr. naselje Ljubljana),
- za območje izven meja Slovenije (Avstrija, Italija, Madžarska, Hrvaška) nimamo podatkov o mejah naselij.

Pri rešitvi tega problema si pomagamo s podatki samodejnega modeliranja, s teselacijo 406 točk SLA z uteženimi Thiessenovimi poligoni (3.1.4) ter z ročnim popravljanjem kartiranih meja.

Kontrolo kakovosti kartiranih meja smo izvajali z vizualno primerjavo samodejno določenih meja, meja naselij in s končnimi rezultati kartiranja. Predvsem smo preverili večja odstopanja med posameznimi načini določanja meja.

Dodatne analize, ki lahko pomenijo indikatorje o prehajanju posameznih govorov v druge, temeljijo na modeliranju v GIS pri uporabi samodejno in ročno pridobljenih podatkov meja (Podobnikar 1999). Poleg omenjenih vključujemo v analize tudi vektorizirane podatke porečij, razvodnic, rečne mreže in geografske razčlenjenosti površja. Analize obsegajo naslednje operacije:

- izračun gostote meja,
- izračun razpršenosti meja,
- izračun najverjetnejše meje,
- samodejna interpretacija meja.

Vzrok za razhajanje mej med Thiessenovimi poligoni in mejami naselij na eni strani ter narečnimi mejami na drugi je v tem, da sloni postopek določanja narečnih mej na manjši ali večji abstrakciji. Dejanske narečne meje namreč večinoma niso ostre, ampak so postopne ali »mehke« (in celo dinamične) ter pogosto predstavljajo širši pas prehajanja enega narečja v drugo. Na Karti slovenskih narečij so meje med narečji postavljene na območjih zgostitve izoglos – večinoma izofon, lahko tudi izomorf, redkeje izoleks, ki razmejujejo razširjenost posameznih jezikovnih pojavov. Zato smo meje narečij na narečni karti in meje krajevnih govorov iz SLA le približno/abstrahirano uskladili z drugimi mejami, dobljenimi s pomočjo GIS (predhodno samodejno klasificirana naselja v povezavi s prekrivanjem teselacije 406 točk SLA z uteženimi Thiessenovimi poligoni, 3.1.4), in nato ročno določili (okvirna) vplivna območja posameznih krajevnih govorov glede na izsledke dialektoloških raziskav.

4 Sklep

Raziskava je pokazala uresničitev nekaj ciljev interdisciplinarnega povezovanja jezikoslovnih in prostorskih raziskav slovenskega kulturnega prostora pri uporabi nekaj metod prostorskega modeliranja. Osredotočili smo se na primer določanja mej krajevnih govorov, zajetih v Slovenski lingvistični atlas (SLA), v primerjavi s Karto slovenskih narečij, pripravljeni na osnovi le jezikoslovnih raziskav. Določanje vplivnih območij krajevnih govorov je eden od temeljev za dialektometrične analize slovenskih narečij (gre za izračun podobnosti in oddaljenosti v mrežo jezikovnega atlasa zajetih krajevnih govorov in analizo podobnosti na različnih jezikovnih ravninah), omogočal pa naj bi tudi natančnejše poteke izoglos (izoleks, izofon, izomorf) na jezikovnih kartah in s tem lažje analize in pripravljanje sintetičnih/povzemalnih kart.

Rezultati verodostojnosti natančnega kartiranja kažejo predvsem na pomembnost dobrega poznavanja indikatorjev narečij po eni strani ter dobro pripravljene prostorske spremenljivke in samodejno določene meje na strugi strani. Pri določanju meja so v pomoč dodatne skupne analize meja, pridobljene na različne načine. Glede na izjemno zapletenost odločitev pri upoštevanju posameznih indikatorjev narečij pa je neobhodno sicer subjektivno ročno kartiranje.

Med neuresničenimi načrti projekta digitalizacije kart SLA še ostaja priprava prave interaktivne karte, kjer naj bi »klik« na točko na karti omogočil vpogled v podatkovno bazo (kraj in podatki o njegovem govoru, vključno z bibliografijo; podatki o zapisovalcih in informatorjih; znanstvena narečna transkripcija z zvočnim in slikovnim gradivom …).

V prispevku smo pokazali obširnost priprav osnov za bolj poglobljene dialektometrične analize (slovenskih) narečij, ki jih načrtujemo v naslednji fazi projekta SLA. Pomemben del opravljenih raziskav je opredelitev indikatorjev slovenskih narečij s pregledom pisnih virov, izdelava spremenljivk geografskih indikatorjev na podlagi DMR (npr. določitev razvodnic in rangiranje po pomembnosti) ter preučitev spremenljivk drugih indikatorjev (npr. meja naselij). Poleg tega je bilo v preteklih desetletjih že določenih 406 točk SLA, ki naj bi opredeljevale značilne narečne govore, ter izdelana obširna zbirka podatkov iztočnic (značilnih narečnih leksemov) SlovarRed. Vsi ti podatki so bili osnova za ročno določanje meja narečij in za izboljšanje meja krajevnih govorov za SLA, kar smo pokazali v prispevku. Nadaljnje raziskave bodo slonele na lastnih pristopih prostorskih analiz v GIS ob upoštevanju dosežkov dialektometričnih raziskav v svetovnem merilu.

5 Viri in literatura

Burrough, P. A., McDonnell, R. A. 1998: Principles of Geographical Systems Information Systems: Spatial Information Systems and Geostatistics. Oxford.

Goebl, H. 1982: Dialektometrie. Prinzipien und Methoden des Einsatzes der Numerischen Taxonomie im Bereich der Dialektgeographie, Denkschriften der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, phil.-hist. Klasse, Band 157. Wien.

Goebl, H. 2000: La dialecométrisation de l'ALF: présentation des premiers résultats. Linguistica XL/2. Ljubljana.

Goebl, H. 2003: Regards dialectométriques sur les données de l'Atlas linguistique de la France (ALF): relations quantitatives et structures de profondeur: Estudis Romànics XXV.

Goebl, H. 2008: Dialektometrie. Medmrežje: http://www.dialectometry.com (1. 3. 2008).

Karničar, A. 1997: Jezerske štorije. Glasovi 16. Ljubljana.

Koletnik, M. 2001: Slovenskogoriško narečje. Zora 12. Maribor.

Logar, T., Rigler, J. 1983: Karta slovenskih narečij (1 : 350.000). Ljubljana

Logar, T. 1993: Slovenska narečja. Ljubljana.

Logar, T. 1996: Dialektološke in jezikovnozgodovinske razprave. Ljubljana.

Medved, A., Smole, V. 2005: Trboveljski govor in rudarska kuharska leksika. Knjižno in narečno besedoslovje slovenskega jezika, Zora 32. Maribor.

Nerbonne, J., Kleiweg, P., Heeringa, W., Manni, F. 2007: Projecting Dialect Differences to Geography: Bootstrap Clustering vs. Noisy Clustering: Data Analysis, Machine Learning, and Applications. 31st Annual Meeting of the German Classification Society. Berlin.

Novak, V., Novak, F. 1996: Slovar beltinskega prekmurskega govora. Murska Sobota.

Podobnikar, T. 1999: Monte Carlo Simulations in Slovenia. Modelling and Visualisation of Spatial Data Error, GIM International 7–13. Lemmer.

Podobnikar, T. 2008: Enhancing terrain features for improved cartographic visualization. Second international conference on cartography and GIS. Proceedings 1, 21–24 January, Borovec. Bolgarija.

Ramovš, F. 1931: Dialektološka karta slovenskega jezika. Ljubljana.

Škofic, J. 2001: Govorica jih izdaja: skica govora kovaške Krope. Kropa.

Škofic, J. 2004: Fonološki opis govora Juršincev v Slovenskih goricah (SLA 378). Jezikoslovni zapiski, 10/2.

Škofic, J. 2006: Uporaba GIS v dialektologiji. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2005–2006. Ljubljana.

Stančič, Z. 1996: Poskus uporabe GIS-a v raziskavah slovenskih narečij. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1995–1996. Ljubljana.

Tomlin, C. D., 1990: Geographic Information Systems and Cartographic Modelling. Englewood Cliffs.

Zorko, Z. 1998: Haloško narečje in druge dialektološke študije. Zora 6. Maribor.

PROSTORSKE SLIKE V GEOGRAFSKIH INFORMACIJSKIH SISTEMIH

dr. Marko Krevs
Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani
marko.krevs@ff.uni-lj.si

Boštjan Burger
Burger k. d. Računalniški inženiring
burger@burger.si

UDK: 528.7:659.2:004
COBISS: 1.17

IZVLEČEK
Prostorske slike v geografskih informacijskih sistemih
Prostorske slike VRP (angleško virtual reality panoramas) so v uporabi dobrih deset let. Širši javnosti so poznane predvsem kot posebna oblika fotografskega gradiva. Kot vir geografskih informacij, ki jih je mogoče smiselno vključiti v geografski informacijski sistem, pa so poznane le redkim. Članek poskuša uporabnikom GIS-ov približati geoinformacijske vidike prostorskih slik in jih spodbuditi k uporabi prostorskih slik pri svojem delu na različnih področjih. Predstavljeni so nekateri tehnični in metodološki vidiki prostorskih slik, prednosti njihove uporabe pri učenju ali proučevanju na daljavo ter nekateri zgledi uporabe.

KLJUČNE BESEDE
prostorska slika, vizualizacija, panorama, uporabniški vmesnik, geoinformatika, raziskovanje na daljavo, geografija, arhitektura

ABSTRACT
Virtual Reality Panoramas in geographic information systems
Virtual Reality Panoramas (VRP) are in use for more than a decade. They are generally known as a special sort of photography. But they are rarely mentioned as source of geographic information that can be adequately incorporated into GIS. The paper tries to highlight the geoinformatic aspects of the VRP, and to motivate GIS users to apply VRP in diverse fields of their work. Selected technical and methodological aspects of VRPs, their advantages in distance learning and remote exploration, and selected examples of good practices are presented.

KEY WORDS
virtual reality panorama, visualization, graphic unit interface, geoinformatics, remote exploration, geography, arhitecture

1 Uvod

Pojem prostorske slike (ali interaktivne prostorske slike) je na svojih spletnih straneh (www.burger.si) soavtor članka začel uporabljati leta 1996, kot eden izmed v svetovnem merilu zelo zgodnjih uporabnikov tovrstne tehnologije. V angleščini se pojem najpogosteje pojavlja v dveh različicah: *virtual reality panoramas* in *immersive images*. Možen smiseln prevod pojma bi lahko bil tudi navidezno-resničnostne panorame. Med možnimi prevodi druge različice angleške rabe pojma je »slika, v katero se potopiš«, ki nakazuje eno njenih temeljnih značilnosti: gledalec je postavljen v središče pogleda na prostor (na primer na pokrajino, notranjost stavbe ali podzemske jame), ki si ga lahko ogleduje v vseh smereh.

V širših strokovnih krogih, zlasti v tako imenovanih prostorskih vedah, je lahko uporaba pojma dvoumna. Prostorsko sliko lahko namreč razumemo tudi kot »kakršenkoli« prikaz prostora, na primer 2D in 3D prikaze geoinformacijskih slojev podatkov in karte. V širšem smislu pa lahko pojem uporabimo tudi za miselne slike o prostoru. Uporabo pojma v tem članku naj bi bralci razumeli kot poskus seznanitve strokovnjakov s področja geoinformatike z njegovo še eno, že uveljavljeno rabo.

Uporaba navidezne resničnosti v prostorskih vedah je na splošno namenjena predvsem »ustvarjanju umetnih ali navideznih geografij« (Fisher, Unwin 2002). Med širšimi področji uporabe so na primer raziskave, pedagoško delo, prostorsko načrtovanje, na konkretni ravni pa na primer upodabljanje nekdanjih in prihodnjih pokrajin ter navidezni izleti. Prostorske slike so le ena od številnih tehničnih rešitev za upodabljanje, preučevanje, medsebojno povezovanje ter razlago geografskih informacij.

Od Don Bainovih projektov Geo-Images in Virtual Guidebooks (Bain 1994–2008, 1995–2008) so prostorske slike postale razširjen način slikovnega dokumentiranja pokrajin ter »notranjih prostorov« (na primer v stavbah, podzemskih jamah). Namesto zgolj »posebne vrste fotografij« postajajo vse bolj prilagodljive in uporabne v prostorskih vedah, tudi v povezavi z geografskimi informacijskimi sistemi. Slednji vidik dejanske in možne rabe prostorskih slik želimo v članku še posebej osvetliti.

Kljub razširjenosti uporabe ostajajo prostorske slike le redko omenjene v strokovni literaturi s področja geoinformatike (na primer v Dodge, Doyle, Smith, Fleetwood 1998). Med najzgodnejšimi tovrstnimi omembami je uporaba prostorskih slik v kombinaciji z daljinsko zaznanimi slikami in drugimi multimedijskimi gradivi za potrebe modeliranja mestnega prostora *the virtual streetscape* (Shiffer 1995).

Namen prispevka je predstavitev temeljnih značilnosti prostorskih slik ter primerov obstoječe in možnosti njihove prihodnje geoinformacijske uporabe.

Slika 1: Valjna projekcija Prešernovega trga v Ljubljani.

2 Temeljne značilnosti prostorske slike

Za lažjo predstavo najprej opišimo, kako prostorsko sliko običajno vidimo in jo uporabljamo. Verjetno najbolj razširjeno tehnologijo za ogled prostorskih slik je izdelal Apple (*QuickTime virtual reality, QTVR*). Prostorske slike so iz panoramskih fotografij izdelane realistične scene z možnostjo navigacije. Uporabnik naenkrat vidi le del celotne slike. Navigacija poteka interaktivno in ima tukaj dva pomena:

- uporabnik spreminja smer in zorni kot pogleda na sliko;
- tehnologija avtorju omogoča postavljanje tako imneovanih vročih točk na izbrane lokacije na prostorski sliki, prek katerih lahko uporabnik navidezno potuje (skoči) do naslednje prostorske slike. Običajno si jih ogledujemo prek spleta.

Prostorska slika je računalniško izdelana podoba, ki temelji na valjni (cilindrični) ali krogelni (sferični) panoramski sliki, dobljeni v postopku fotografiranja (fotovzorčenja) z ustreznim objektivom v nodalni točki v krogu 360° in je prikazana na računalniškem monitorju. S pomočjo prostorske slike si je možno fotografirani prostor ogledovati v vseh smereh. Prikazi prostorskih slik temeljijo na treh osnovnih projekcijah (slike 1, 2 in 3): valjni, krogelni in kockasti (kubični). Valjno (cilindrično) projekcijo praviloma uporabljamo za zorni kot (po vertikali) do 110°. Pri večjem zornem kotu je za prikaz prostorske slike boljša uporaba krogelne projekcije. Ta projekcija omogoča prikaz lokacije v vseh smereh okoli mesta fotovzorčenja (oziroma okoli nodalne točke). Krogelno projekcijo prostorske slike lahko pretvorimo v kvadratno projekcijo. Slednjo sestavlja 6 slikovnih kvadratov, ki se pri računalniški interpretaciji prikazujejo kot prostorska slika. Slikovni kvadrati so linearne fotografije, ki bi jih dobili pri fotografiranju z linearnimi ultraširokimi objektivi.

3 Geoinformacijski vidiki uporabe prostorskih slik

Z zajemom položaja nodalne točke, ki predstavlja središče prostorske slike, naredimo prvi korak k njeni geoinformacijski rabi. Georeferencirana prostorska slika je lahko dopolnilna informacija oziroma alternativna upodobitev določene lokacije ali objekta. Takšna raba prostorskih slik je nedvomno najpogostejša tako v spletnih aplikacijah, kakršna je GoogleEarth, kot v »pravih« GIS-ih. Prostorska slika jev takšnih primerih lahko vmesnik za navidezno seznanjanje s pokrajino ali njeno navidezno preu-

BOŠTJAN BURGER

Slika 2: Krogelna projekcija Prešernovega trga v Ljubljani.

BOŠTJAN BURGER

Slika 3: Kockasta (kubična) projekcija Prešernovega trga v Ljubljani.

čevanje. Za potrebe mestnega planiranja so bili na primer opravljeni poskusi kombinacije prostorskih slik in navideznih (na primer VRML) objektov, med drugim za upodobitev predlogov posegov v prostor. Prikaz so poimenovali »nadgrajena resničnost« (angleško *augmented reality*; na primer Dodge, Doyle, Smith, Fleetwood 1998). Vendarle se moramo zavedati, da uporabniki prostorskih slik ne more »potovati« po sceni na tak način, kot v primeru 3D (na primer VRML) modelov. Prostorske slike posredno omogočajo le navidezno gibanje, s pomočjo medsebojnega povezovanja slik prek že omenjenih vročih točk, ki omogočajo navideznemu sprehajalcu preskoke z ene točke snemanja na drugo. Pojma navideznega potovanja ali navideznega terenskega dela se seveda nista pojavila šele z uveljavljanjem prostorskih slik. V geografiji in prostorskem načrtovanju se lahko navezujeta na razmeroma preproste kartografske in druge (2.5D ali 3D) prikaze s pomočjo GIS-ov ali programov za tovrstno vizualizacijo (na primer McKnight, McKnight, Hess 1999).

Na podlagi kvalitativne ali kvantitativne analize prostorske slike je mogoče izdelati »pravi« geoinformacijski sloj atributnih podatkov. Na tak način lahko na primer prepoznamo in določeni lokaciji pripišemo tip ali prevladujoče predstavnike vegetacije, način razmestitve objektov v prostoru, preštejemo število nedeljskih sprehajalcev, število poškodovanih kapnikov v podzemni jami, ocenimo stopnjo

BOŠTJAN BURGER

Slika 4: Prikaz grafičnega vmesnika (GUI) z zornim kotom prostorske slike. Položaj nodalne točke je prikazan na tlorisu jamskega sistema.

BOŠTJAN BURGER

Slika 5: Razdelitev panorame na segmente, kot podlaga za orientacijo in opredelitev zornega kota pogleda na sliko.

BOŠTJAN BURGER

Slika 6: Shematičen prikaz možnega primera uporabe prirejene monoploting metode za ocenjevanje razdalj in višin na prostorski sliki. Nodalna točka te prostorske slike je na vrhu Grintovca.

poškodovanosti ometov stavb ali na primer proučujemo dojemanje privlačnosti območij (v slednjem primeru so prostorske slike uporabljene v anketiranju ali intervjujih).

Tretji način geoinformacijske rabe prostorskih slik je izvajanje prostorskih meritev. Ta (fotogrametrični) vidik njihove uporabe je doslej najmanj proučen in uporabljen. Med razlogi sta morda tudi doslej razmeroma skromna natančnost meritve položaja nodalne točke, ki jo običajno določimo s pomočjo GPS-a ter približnost določitve vodoravnosti navidezne ploskve rotacije kamere med snemanjem. Ta parametra je seveda mogoče izboljšati in s tem omiliti omenjene pomanjkljivost prostorskih slik za fotogrametrično rabo. Kljub pomanjkljivostim že danes obstajajo primeri merjenj na podlagi prostorskih slik, na področjih, kjer je zahtevana razmeroma nizka stopnja natančnosti meritev. Med takšnimi primeri je lahko prostorska slika vmesnik za orientacijo in navigacijo v prostoru na podlagi podatkov o smeri in zornem kotu trenutnega pogleda na sliko (slika 4). Razdelitev slike na segmente, kot podlaga za orientacijo in opredelitev zornega kota pogleda na sliko, prikazuje slika 5. S pomočjo prirejene monoploting metode bi bilo na podlagi prostorske slike in digitalnega modela višin mogoče ocenjevati približne razdalje in (nadmorske) višine izbranih točk na sliki (slika 6), izrisati reliefni profil med izbranima točkama na sliki, ali za točke ugotoviti druge atribute (na primer imena gorskih vrhov). Nastajanje brezplačnega programja za izvedbo monoploting metode (primer izdelka, ki je nastal kot študentski projekt: Fluehler, Niederoest, Akca, 2005) obeta, da bo kmalu na voljo tudi metoda prirejena za analizo prostorskih slik. V literaturi smo zasledili poskuse uporabe stereo parov prostorskih slik (na primer Kazuharu, Tsuyoshi 2003), a doslej predvsem za potrebe 3D vizualizacije.

4 Primeri dobre prakse

V dobrem desetletju se je nabralo veliko število področij in primerov uporabe prostorskih slik. Na tak način so bila na primer dokumentirana mestna in podeželska območja, notranjost zgradb, podzemnih jam ter številni naravni pojavi. Kot orodje za raziskovalno ali pedagoško upodabljanje so prostorske slike uporabljali na primer geografi, arhitekti, arheologi, kriminalisti. Med pogostimi razlogi za uporabo prostorskih slik je nadomestitev terenskega obiska območij na posnetkih, na primer zaradi njihove težke dostopnosti, oddaljenosti, stroškov, ogroženosti obiskovalcev, ali varovanja občutljivih habitatov. Primer dobre prakse, za katerega veljajo vsi navedeni razlogi za virtualni obisk, predstavlja uporaba prostorskih slik za dokumentiranje, navidezno ogledovanje in proučevanje kraških jam. Jamski sistem Nove Križne jame je zaščiten in ga lahko večina obišče zgolj virtualno (http://www.burger.si/Jame/

BETKA BURGER, BOŠTJAN BURGER

Slika 7: Uporabniški vmesnik interaktivnega prikaza jamskega sistema Križne jame.

KriznaJama/KriznaJama.html). Prostorske slike te in številnih drugih kraških jam v Sloveniji zdaj virtualno obiskujejo in tudi proučujejo geografi in speleologi iz tujine (med njimi omenjeni Don Bain z Berkeleyske univerze v ZDA, pri predavanjih z zgledi prikazov krasa). Omenimo, da so omenjene jamske prostorske slike georeferencirane, v ta namen razviti uporabniški vmesnik (slika 7) pa omogoča spremljanje azimuta pogleda oziroma prikazanega zornega kota (slika 4).

Kot drugi primer dobre prakse smo izbrali nastajanje zbirke georeferenciranih prostorskih slik, ki beležijo spreminjanje urbanih območij v časovnih serijah. Zgled je dokumentacija Ljubljane za obdobje od leta 1996 do leta 2007. Morfologija mesta Ljubljane se je v tem času postopoma, na prvi pogled neznatno spreminjala. Etapna dokumentacija mesta s prostorskimi slikami (http://www.burger.si/Ljubljana/uvod.html) kaže, da spremembe niti v tako kratkih časovnih razmikih niso tako neznatne, na primer v arhitekturi ali spremembah osebnih in javnih prevoznih sredstev.

Tretji izbrani primer dobre prakse je vizualizacija Mestnega muzeja v Ljubljani iz leta 1999 (http://www.burger.si/MuzejiInGalerije/MestniMuzejLjubljana/StilnoPohistvo/StilnoPohistvo.html). Muzejska postavitev Stalna zbirka stilnega pohištva je bila nespremenjena od leta 1937 in je že sama predstavljala muzejsko vrednost. Leta 2000, ob prenovi Turjaške palače, je bilo stilno pohištvo odstranjeno. Danes obstaja le še prikaz na omenjenem spletnem naslovu, prek katerega si lahko obiskovalec ogleda stilsko pohištvo iz različnih zgodovinskih obdobij od gotike do secesije.

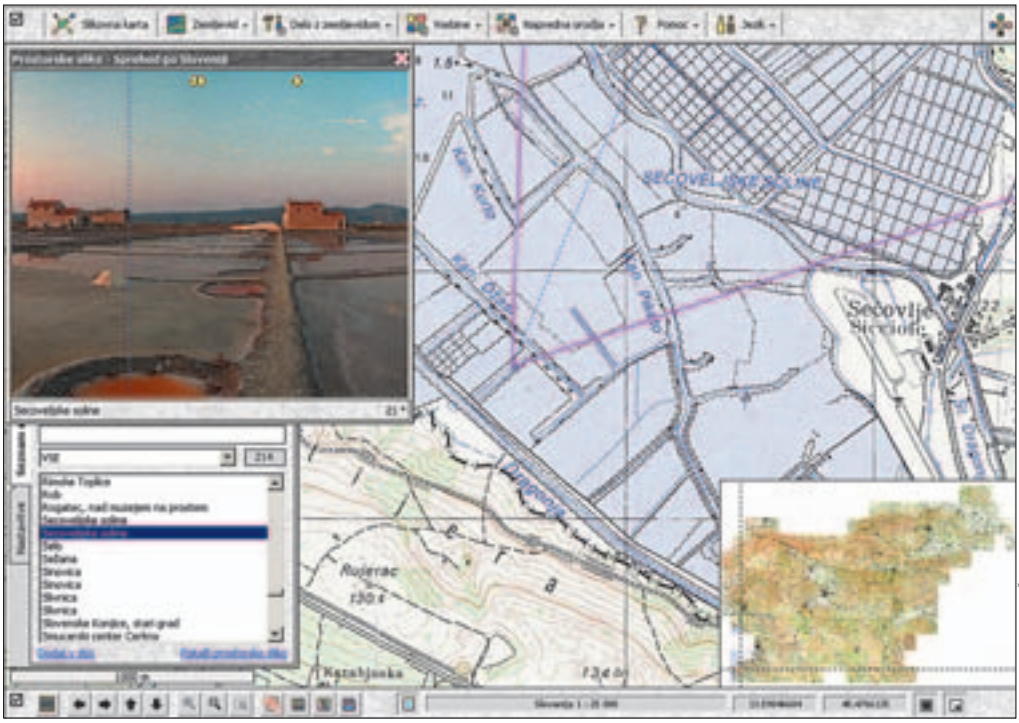
Naslednji zgled, uporaben npr. za študente arhitekture ali gimnazijce, je Virtualni muzej Jožeta Plečnika (www.burger.si/Plecnik/uvod.html, 2007), ki s pomočjo georeferenciranih prostorskih slik dokumentira njegova dela (slika 8).

Prvi avtorjema tega prispevka znani slovenski primer uporabe prostorskih slik v komercialnem geoinformacijskem izdelku je Interaktivni atlas Slovenije (1997–2008) (slika 9). Podatkovni sloj prostorskih

BETKA BURGER, BOŠTJAN BURGER

Slika 8: Uporabniški vmesnik interaktivnega prikaza Plečnikove arhitekture in urbanizma.

slik je bil v izdelek vključen v obdobju 2003–2005. Georeferencirane prostorske slike z določenim azimutom je možno prikazati na kartah različnih meril ali na satelitskih posnetkih. Korelacija med prostorsko sliko in zemljevidom je podobna kot v navedem zgledu iz Križne jame.



BETKA BURGER, BOŠTJAN BURGER

Slika 9: Podatkovni sloj prostorskih slik v Interaktivnem atlasu Slovenije (1997–2005).

5 Sklep

V času izrednega razvoja na področju visoko ločljivega daljinskega zaznavanja (vključno z laserskim) ter fotorealističnih 3D modelov mestnih in podeželskih pokrajin se morda zdi nesmiselno razmišljati o možnostih nadaljnjega razvoja geoinformacijske uporabe prostorskih slik. Navsezadnje prostorske slike ne vsebujejo prostorskih objektov (kot na primer VRML), ampak le njihovo slikovno projekcijo na navidezno ravno ali ukrivljeno ploskev. Zato posameznim objektom oziroma elementom slike ne moremo spreminjati značilnosti ali jih kako drugače modelirati, razen grafično.

Kljub navedenim pomislekom je mogoče pričakovati nadaljnji razvoj prostorskih slik in njihove geoinformacijske uporabe. Med najpomembnejšimi dejavniki, ki podpirajo takšna pričakovanja, so naslednji: danes je izdelava prostorskih slik razmeroma nezahteven postopek, časovno in finančno za velik del uporabnikov neprimerno lažje dosegljiv od 3D fotorealističnih modelov; za njihovo izdelavo in uporabo (tudi prek spleta) je potrebno izpolniti razmeroma skromne tehnične zahteve; kljub prevzorčenju panoramskih fotografij ob njihovem projiciranju je ohranjena visoka ločljivost in »realističen videz« prostorske slike; obsežne obstoječe zbirke prostorskih slik omogočajo spremljanje časovnih sprememb v dokumentirani pokrajini oziroma prostoru; bogastvu kvalitativnih informacij, ki jih vsebujejo prostorske slike, se je le redko mogoče približati z uporabo »običajnih« geoinformacijskih zbirk podatkov; omenjena informacijska vira pa se zelo dobro dopolnjujeta; z interaktivnostjo, možnostmi pogledov v vse smeri, približevanja ali oddaljevanja (oženja oziroma širjenja zornega kota) pogleda ter navideznega potovanja med lokacijami prostorskih slik slednje pomenijo izrazito nadgradnjo običajnih digitalnih fotografij ali video posnetkov; obeti možnosti uporabe prirejene monoploting metode lahko v kratkem izrazito povečajo (geoinformacijsko) uporabnost prostorskih slik; v okolju z večjimi objekti (na primer stavbami, vegetacijo) za omenjeno metodo ne bi zadoščal digitalni model (reliefnih) višin; podatke o reliefnih nadmorskih višinah bi morali nadgraditi s 3D modeli stavb (na primer na podlagi katastra stavb).

Ob navedenih dejavnikih razvoja na tem področju se morda zdi terminološka nedorečenost poimenovanja prostorskih slik, ki smo jo izpostavili v uvodu, skoraj nepomembna. Vendarle bi želeli, da poimenovanje postane bolj ustaljeno, kot doslej. Podobno, kot pri drugih pojmih, ki se navezujejo na mlade razvijajoče se tehnologije pa bo čas pokazal, katero od poimenovanj se bo najbolj prijelo.

6 Viri in literatura

Bain, D. 1994–2008: The Geo-Images Project. Medmrežje: http://geoimages.berkeley.edu/ (7. 1. 2008).

Bain, D. 1995–2008: Don Bain's Virtual Guidebooks. Medmrežje: http://virtualguidebooks.com/ (7. 1. 2008).

Burger, B. 2008: Utrinki iz Slovenije, Slovenia Landmarks. Medmrežje: http://www.burger.si ali http://www.mojaslovenija.si (1. 2. 2008).

Dodge, M., Doyle, S., Smith, A., Fleetwood, S. 1998: Toward the virtual city: VR & internet GIS for urban planning. Virtual reality and geographic information systems, medmrežje: http://www.casa.ucl.ac.uk/martin/tmp/html_version/vrcity.html (7. 1. 2008).

Fisher, P., Unwin, D. 2002: Virtual Reality in Geography. London.

Fluehler, M., Niederoest, J., Akca, D. 2005: Developmnet of an educational software system for the digital monoplotting. Proceedings of ISPRS Workshop on tools and techniques for e-learning, 36 (6W30) (na CD-ROM-u). Potsdam.

Hudson-Smith, A., Evans, S. 2003: Virtual cities: from CAD to 3-D GIS. Advanced spatial analysis. The CASA book of GIS. ESRI Press.

Interaktivni Atlas Slovenije, 1997–2008. Globalvision, Mladinska knjiga. Medmrežje: http://www.kje.si/iass/page_iass.php (7. 1. 2008).

Kazuharu, H., Tsuyoshi. Y. 2003: Construction of Virtual Reality Scenes Using Stereo Omni-directional Images. IEIC Technical Report (Institute of Electronics, Information and Communication Engineers), 102/603, 11–15, medmrežje: http://sciencelinks.jp/j-east/article/200310/ 000020031003A-0228129.php (6. 3. 2008).

Krevs, M. 2004: Spreminjanje urbane rabe tal v Ljubljani. Dela 22. Ljubljana.

McKnight, T., McKnight, T. L., Hess, D. 1999: Physical Geography: A Landscape Appreciation (Virtual Fieldtrip Edition). Upper Saddle River.

Ritter, M. E. 1998: Virtual Field Trips: Just Like Being There. Department of Geography and Geology, Univesity of Wisconsin – Newsletter II, 4, medmrežje: http://www.uwsa.edu/ttt/tttv2n4.htm (7. 1. 2008).

Shiffer, M. J. 1995: Interactive multimedia planning support: moving from stand-alone systems to the World-Wide-Web. Environment & Planning B: Planning and Design 22. London.

VIZUALIZACIJA VELIKEGA TERENA V REALNEM ČASU

Bojan Rupnik, dr. Gregor Klajnšek, dr. Borut Žalik
Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Univerza v Mariboru
bojan.rupnik@uni-mb.si, gregor.klajnsek@uni-mb.si, zalik@uni-mb.si

UDK: 004.92:551.43
COBISS: 1.17

IZVLEČEK
Vizualizacija velikega terena v realnem času
Digitalni modeli reliefa danes dosegajo velike ločljivosti, tudi do nekaj 10 cm. Zato pri vizualizaciji v realnem času takšnega terena hitro naletimo na omejitve strojne opreme. Ozko grlo predstavljata grafični pomnilnik in grafična procesna enota (GPE). V grafičnem pomnilniku je lahko prisoten le del terena, tisti del, ki je dovolj blizu opazovalca, GPE pa lahko v realnem času prikaže omejeno število geometrijskih objektov – običajno trikotnikov. Zato je podatke o terenu potrebno razdeliti v manjše obvladljive enote ter jih obdelovati posamično.

KLJUČNE BESEDE
vizualizacija terena, štiriško drevo, grafična procesna enota, stopnja podrobnosti, izločanje iz vidnega polja

ABSTRACT
Vizualization of large terrains in real-time
Digital elevation models can reach high resolutions, up to a few 10 cm. Because of this we can quickly reach hardware limits when rendering such terrains. The bottlenecks are available video memory and the graphical processing unit (GPU). We can only store the part of the terrain that is close enough to the viewer in the video memory. The GPU can draw only a limited number of geometric objects – usually triangles. We need to divide the terrain data into smaller managable parts and process them individually.

KEY WORDS
terrain visualization, quadtree, graphical processing unit, level of detail, frustum culling.

1 Uvod

Vizualizacija terena je pomemben element pri navidezni resničnosti, geografskih informacijskih sistemih, računalniških igrah, simulacijah. Težave se pojavijo, ko naletimo na omejitve strojne opreme. Pri obsežnih terenih predstavljata ozko grlo tako razpoložljivi pomnilnik, kot tudi procesorska moč. Pri pomnilniku imamo v mislih predvsem pomnilnik grafične kartice oz. video pomnilnik. Video pomnilnik ima ponavadi precej manjšo kapaciteto kot delovni pomnilnik, za čim hitrejše prikazovanje pa bi radi terenske podatke shranili prav vanj. Težava se pojavi, ker so veliki tereni preobsežni za shranjevanje v video pomnilnik. Tudi pri procesorski moči se zanašamo predvsem na grafično procesno enoto. Ker so grafični procesorji sposobni prikazati le omejeno število objektov (ponavadi trikotnikov) v želenem času, je potrebno njihovo število omejiti. Pri vizualizaciji terena omejujemo število trikotnikov z izločanjem nevidnih delov ter z zmanjšanjem stopnje podrobnosti. Obstaja več različnih metod, ki se ukvarjajo s stopnjo podrobnosti, v tem poglavju pa bomo našteli najbolj znane.

Lindstromov algoritem (Lindstrom 1992) spreminja površje terena v dveh korakih. Teren je predstavljen kot višinsko polje, nad katerim najprej uporabimo grobo poenostavitev, nato pa še natančno. Pri grobi poenostavitvi algoritem grupira višinsko polje v bloke velikosti $(2^n + 1) \times (2^n + 1)$, ki se prekrivajo na robovih. Pri natančni poenostavitvi algoritem uporabi bisekcijo roba za združevanje več manjših trikotnikov v manj večjih. Trikotniki se združujejo, dokler ni dosežena toleranca napake zaslona. Poenostavljenje trikotnika je odvisno od pogleda.

Hoppe (Hoppe 1997) uporablja napredujoče mreže prilagojene terenu za nadzor stopnje podrobnosti. Napredujoče mreže uporabljajo operacije, ki glede na položaj in pogled opazovalca razdelijo ali združijo oglišče in robove trikotniške mreže. Razdelitev in združevanje opravljamo, dokler ni dosežena napaka zaslona. Poleg že omenjenih je zanimiv tudi algoritem ROAM (*real-time optimally adapting meshes*), opisan v (Duchaineau 1997). Algoritem temelji na bisekciji roba, ki se izvede na trikotnikih namesto na ogliščih. Bisekcija se izvede s prehodom po drevesu. Algoritem uporablja metriko napake pri odločitvi ali se naj teren poenostavi ali ne.

GeoMipMap metoda (deBoer 2000) izkorišča prednost grafične strojne opreme. Algoritem razdeli teren na kvadratne bloke imenovane geomipmap. Za poenostavljanje se izloči vsaka druge vrstica in vsak drug stolpec. Vsakemu bloku se priredi vrednost napake, ki je odvisna od odstranjenih oglišč. Če je napaka bloka prevelika, je potrebno stopnjo podrobnosti povečati, sicer pa zmanjšati. Pomembna lastnost algoritma je obvladovanje vrzeli, ki se jim izogne s posebno triangulacijo.

Leta 2004 sta Losasso in Hoppe uvedla t. i. geoclipmap (Lossasso 2004). Geoclipmap shrani teren v piramido vgnezdenih enakomernih mrežah, ki so centrirane okoli opazovalca. Mreže so shranjene v video pomnilniku in se spreminjajo, ko se opazovalec premika. Avtorji so vizualizirali 40GB veliko višinsko polje. Metoda je bila izboljšana leta 2005 (Asirvathan 2005), kjer so avtorji večino dela iz CPE prestavili na GPE.

V naslednjih poglavji bomo opisali lastno metodo za obvladovanje obsežnih terenov. Metoda uporablja podobne pristope, kot so opisani v (Lindstrom 1997) in (deBoer 2004). V poglavju 2 bomo opisali podatkovno strukturo, ki jo naša metoda uporablja, poglavje 3 pa bo obravnavalo nadzor pomnilnika, poglavje 4 opisuje proces vizualizacije in stopnjo podrobnosti, v poglavju 5 pa bomo opisali rezultate.

1.1 Izrazje

V tem delu bomo opisali pomembnejše izraze, ki jih bomo uporabljali v članku:

- obsežen teren – teren sestavljen iz več točk, kot jih je brez optimizacije možno prikazati v realnem času;
- višinsko polje – enakomerna mreža višinskih točk na ravnini; vsaki točki določimo višino, s čimer dobimo 3D površje;

- enostavno višinsko polje – višinsko polje, kjer so shranjene samo višinske vrednosti;
- detajlno višinsko polje – višinsko polje, kjer ima vsaka točka določen natančen položaj v 3D modelu;
- polje indeksov – seznam indeksov, ki določajo, na kateri način se točke višinskega polja povezujejo v trikotnike.

2 Upodabljanje v realnem času

Pri vizualizaciji v realnem času nosi največje breme grafična kartica. S tem ko podatke za vizualizacijo shranimo neposredno v video pomnilnik, prihranimo na času, ki je potreben za prenos podatkov iz delovnega pomnilnika do grafičnega procesorja. Viri, ki jih lahko shranimo v video pomnilnik, so geometrijski podatki (v našem primeru višinsko polje), slikovni podatki (teksture) ter pravila za povezovanje geometrijskih podatkov (polje indeksov).

Višinsko polje shranimo v točkovni oz. ogliščni vmesni pomnilnik (*vertex buffer*). Pri tem mora imeti vsaka točka točen položaj v 3D modelu, zato uporabimo detajlno višinsko polje. Pri detajlnem višinskem polju lahko dodamo točkam tudi podatke o normalah ter teksturnih koordinatah, ki so potrebne za osvetljevanje in pokrivanje terena s podobami. Pri zapisu s plavajočo vejico potrebujemo za zapis koordinat 12 zlogov, za zapis normale dodatnih 12 bajtov ter dodatnih 8 bajtov za zapis koordinat teksture. V primerjavi z enostavnim višinskim poljem, kjer potrebujem le 4 bajte za zapis višine, potrebujemo za detajlno višinsko polje 8 krat več pomnilnika.

S poljem indeksov določimo, katere točke višinskega polja povežemo v trikotnike. Do vsake točke višinskega polja lahko dostopamo prek indeksa. Trije zaporedni indeksi tako določajo točke, s katerimi tvorimo trikotnik. Polje indeksov shranimo v vmesni pomnilnik indeksov.

Poleg obeh vmesnih pomnilnikov (ki zasedata video pomnilnik) lahko dodatni pomnilnik uporabimo še za morebitne naložene teksture. Pri velikih terenih nam za prikazovanje vseh podatkov zmanjka video pomnilnika, zato moramo podatke shranjevati tudi na delovnem pomnilniku, ali pa celo na disku. Za prikazovanje takega terena moramo razdeliti teren na manjše dele, ki jih lažje obvladujemo.

3 Delitev terena s štiriškim drevesom

Za delitev terena na manjše dele uporabljamo štiriško drevo. Štiriško drevo je podatkovna struktura, kjer ima vsako vozlišče do štiri otroke. Delitev opravimo tako, da shranimo enostavno višinsko polje v koren drevesa. Višinsko polje nato razdelimo na štiri enako velike kose. Pri tem moramo višinske točke na nastalih robovih podvojiti, tako da se prekrivajo. Vsak nov kos višinskega polja nato priredimo enemu otroku vozlišča. Postopek ponavljamo, dokler ni velikost višinskega polja dovolj majhna. Pri naši metodi je največje višinsko polje v drevesu velikosti 256 krat 256 oz. 2^{16} točk. Na ta način zmanjšamo tudi pomnilniško porabo polja indeksov, saj zadostujeta 2 zloga za zapis vsake točke, pri večjih višinskih poljih bi potrebovali 4 zloge. Pri vsaki delitvi se višinska polja nahajajo le v listih drevesa, v starših pa višinska polja odstranimo.

Štiriškemu drevesu moramo podati tudi geometrijske podatke o drevesu. Tako vsakemu listu drevesa podamo položaj prve točke, s katerim kasneje iz enostavnega višinskega polja tvorimo detajlno višinsko polje. Vsakemu vozlišču prav določimo tudi omejujoč kvader višinskega polja. Omejujoč kvader korena tako pokriva celoten teren, vsak naslednik vsebuje omejujoč kvader tistega dela terena, ki se nahaja v njem. Po opravljeni delitvi v vsakem listu štiriškega drevesa obstaja enostavno višinsko polje. Določiti moramo še razdaljo med sosednjima točkama, nato pa lahko z začetnim položajem prve točke izračunamo natančen položaj vsake točke, s čimer dobimo detajlno višinsko polje. Detajlna višinska polja nato shranimo v video pomnilnik kot točkovni vmesni pomnilnik. Za vizualizacijo višinskega

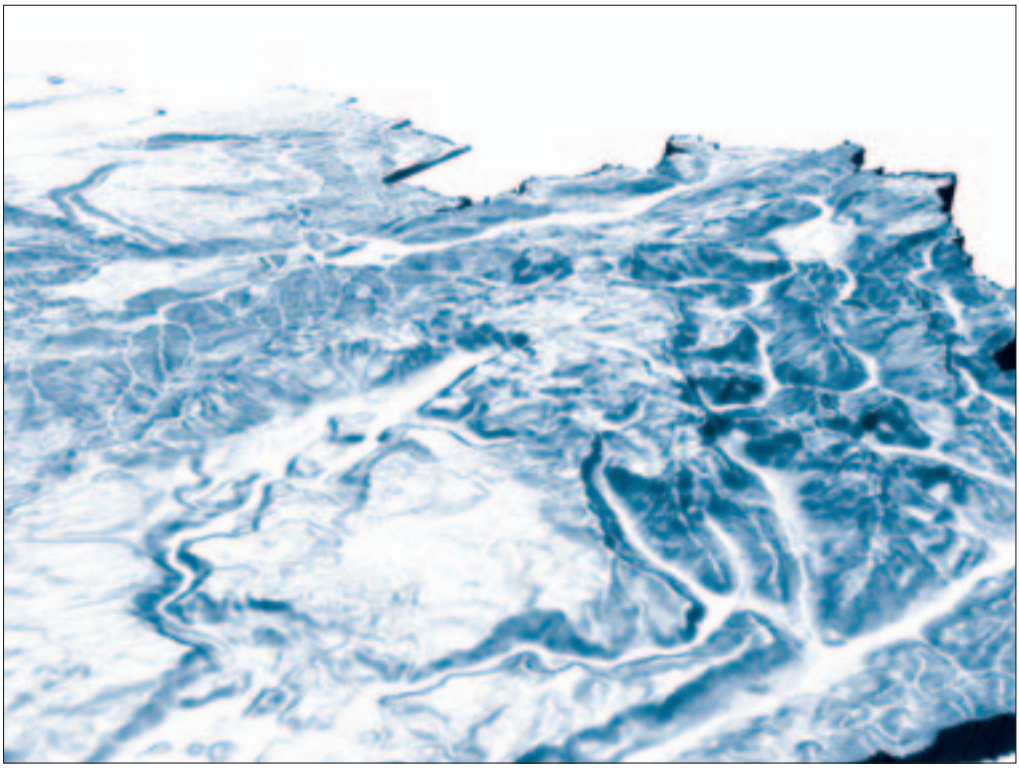
polja potrebujemo še polje indeksov. Polje indeksov ustvarimo na obstoječih višinskih poljih, ki se nahajajo v listih drevesa. Ker smo pri delitvi terena zagotovili, da je vsako višinsko polje enake velikosti, moramo ustvariti le eno polje indeksov za pokritje s triangulacijo vseh višinskih polj. Polje indeksov ustvarimo tako, da v trikotnike enostavno povežemo sosednje točke.

4 Vizualizacija

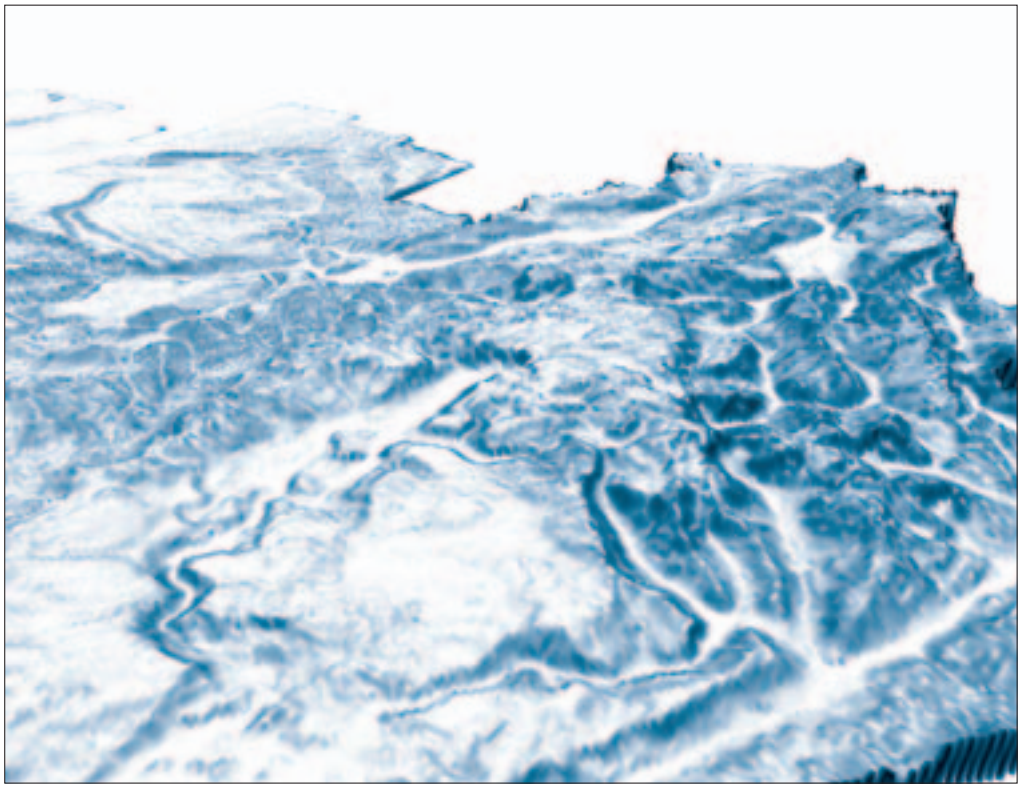
Teren rišemo s prehodom štiriškega drevesa. Kot smo že omenili v uvodu, je potrebno za učinkovito vizualizacijo (to je vsaj 60 slik na sekundo) optimizirati prikazovanje. Za zmanjšanje prikazanih trikotnikov uporabimo dva postopka:

- spreminjanje stopnje podrobnosti in
- izločanje objektov zunaj vidnega polja.

Stopnjo podrobnosti posameznih vozlišč zmanjšamo tako, da izločimo določene točke iz višinskega polja v vozlišču. S tem majhne trikotnike, ki tvorijo trikotniško mrežo v polni ločljivosti, nadomestimo z manjšim številom (večjih) trikotnikov. Izločanje poteka podobno kot pri deBoerovi metodi (deBoer 2000), tako da izpustimo vsako drugo vrstico ter vsak drug stolpec. Pri takem poenostavljanju pride do težav na stičiščih višinskih polj prikazanih z različnimi stopnjami podrobnosti, saj nastanejo vrzeli pri izpuščenih točkah. Vrzelim se izognemo tako, da priredimo triangulacijo mreže kot je vidno na sliki 3. Rob višinskega polja vedno prikazujemo v polni ločljivosti, šele v notranjosti začnemo izpuščati vrstice in stolpce.



Slika 1: Prikaz digitalnega modela reliefa Slovenije v polni ločljivosti.



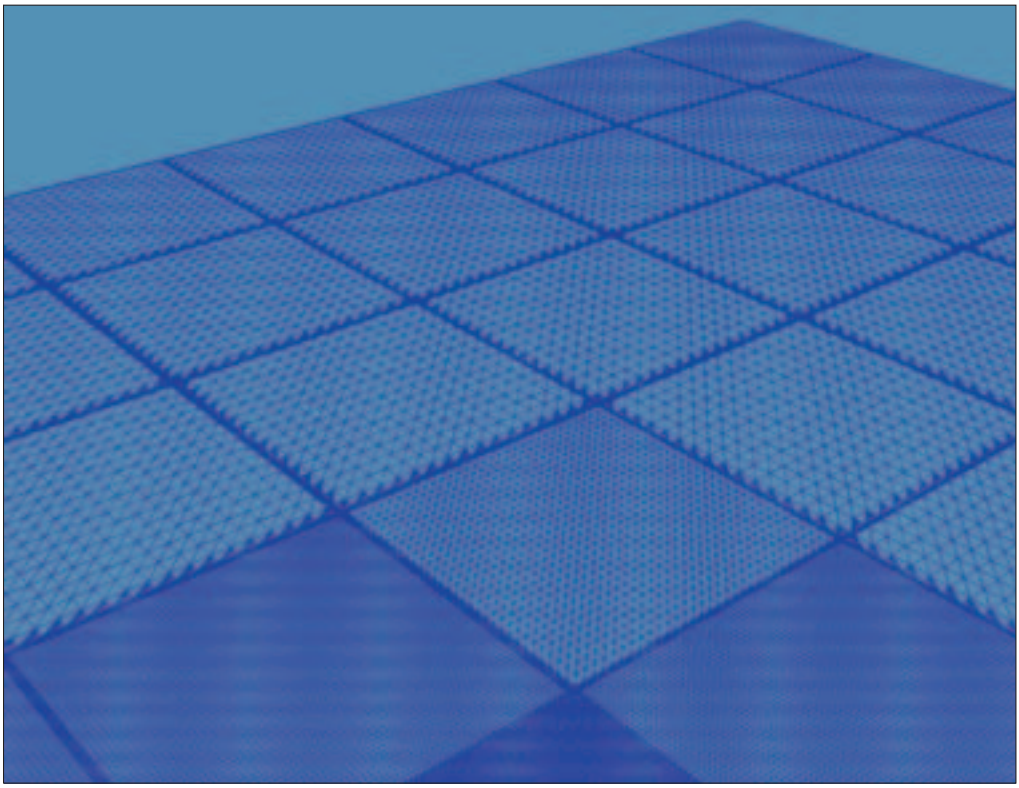
Slika 2: Prikaz digitalnega modela reliefa Slovenije z nižjo stopnjo podrobnosti (izpuščenih okoli tri četrt točk).

Samo višinsko polje v pomnilniku ostane nedotaknjeno, saj je triangulacija odvisna od polja indeksov. Tako pri spreminjanju stopnje podrobnosti pravzaprav spremenimo polje indeksov. Kot je omenjeno v prejšnjem poglavju, potrebujemo eno samo polje indeksov za prikaz katerega koli višinskega polja. Tako na začetku ustvarimo štiri različna polja indeksov, ki predstavljajo štiri stopnje podrobnosti. Vsa ustvarjena polja indeksov shranimo v vmesni pomnilnik indeksov, pri vizualizaciji je nato le potrebo preklapljati med njimi.

Ko zmanjšamo stopnjo podrobnosti, se seveda zmanjša tudi kvaliteta prikazanega terena. Sliki 1 in 2 prikazujeta del digitalnega modela reliefa Slovenije prikazan z najvišjo stopnjo podrobnosti (slika 1) ter nižjo stopnjo (slika 2). Na sliki 2 je teren prikazan le s četrtino izvorne ločljivosti, vendar pa kakovost prikaza ostaja dokaj visoka. Tabela 1 prikazuje vpliv poenostavitve pri različnih stopnjah podrobnosti.

Preglednica 1: Vpliv stopnje podrobnosti na število prikazanih točk.

stopnja podrobnosti (ločljivost)	odstranjene točke (v odstotkih)
0 (najvišja)	0
1	75
2	93,75
3 (najnižja)	98,44



Slika 3: Manjšanje stopnje podrobnosti z oddaljevanjem od opazovalca.

Stopnjo podrobnosti izberemo gleda na položaj opazovalca. Vozlišče, ki se nahaja pod opazovalcem, vedno prikažemo v polni ločljivosti, prav tako tudi sosednja vozlišča. Nato v »obročih« zmanjšujemo stopnjo podrobnosti vozliščem okoli opazovalca (slika 3). Obročem stopnjo znižujemo, dokler ne dosežemo dovolj velike zmogljivosti (oz. dovolj majhnega števila trikotnikov).

Poleg stopnje izboljšamo zmogljivost z izločanjem iz vidnega polja. Opazovalec lahko vidi le tisti del terena, ki je v njegovem vidnem polju. Zato lahko izločimo vsa vozlišča štiriškega drevesa, ki se nahajajo zunaj vidnega polja (slika 4). Kot smo omenili, ima vsako vozlišče drevesa omejujoč kvader, za katerega preverimo, ali se nahaja znotraj vidnega polja ali ne. Postopek začnemo pri korenu drevesa, nato pa za vsakega sina preverimo, ali se nahaja znotraj vidnega polja ali ne. Čim naletimo na vozlišče, ki se ne nahaja znotraj vidnega polja, lahko zaključimo postopek za vse potomce vozlišča, saj tudi ti zagotovo niso znotraj vidnega polja. Vsako izločeno vozlišče razbremeni GPE ter pripomore k večji hitrosti vizualizacije.

Pri velikih terenih celotnega terena ne moremo shraniti v video pomnilnik. Zato zapolnimo video pomnilnik z vozlišči drevesa (oz. višinskimi polji v njih), ki so najbližja opazovalcu. Ostala vozlišča shranimo v delovni pomnilnik (ali pa na disk). Okoli opazovalca določimo regijo velikosti omejujočega kvadra (po ravninskih koordinatah). Ko opazovalec pri premikanju regijo zapusti, izločimo vozlišča, ki so padla iz vidnega dosega opazovalca ter jih nadomestimo s tistimi, ki so prišla v vidni doseg (naložimo jih iz delovnega pomnilnika.

Slika 4: Deli terena, ki se delno ali v celoti nahajajo v vidnem polju (trikotni del na sliki) se izrišejo, vsi ostali pa so izločeni iz procesa vizualizacije (svetli del terena na sliki).

5 Rezultati

Testiranje aplikacije smo izvedli na naslednji konfiguraciji:

- procesor: Intel Core 2 Duo E6700, 2,66 GHz,
- pomnilnik: 2048 MB,
- grafična kartica: Nvidia GeForce 7950 GX2, 1024 MB,
- operacijski sitem: Windows XP SP2,
- programski jezik: C++ s podporo Direct3D.

Preglednica 2: Vpliv velikosti terena na zmogljivost vizualizacije terena.

velikost terena (število točk)	hitrost osveževanja (slik na sekundo)
256 krat 256	> 1200
512 krat 512	> 1000
1024 krat 1024	> 800
2048 krat 2048	> 70

Nižanje stopnje podrobnosti ima velik vpliv na zmogljivost. Preglednica 2 prikazuje število slik na sekundo pri različnih stopnjah podrobnosti. Pri testiranju zmogljivosti za različne stopnje podrobnosti smo izklopili izločanje iz vidnega polja, saj je to zelo odvisno od položaja in smeri gledanja opazovalca. Tako lahko v najboljšem primeru (opazovalec ne gleda terena) pospešimo zmogljivost vizualizacije do maksimuma, v najslabšem primeru (celoten teren v vidnem polju opazovalca) pa so rezultati kot je razvidno v preglednici.

6 Sklep in prihodnje delo

Naša izvedba izkorišča prednosti moderne strojne opreme, predvsem grafične kartice. S prenosom večine dela na grafično kartico, puščamo centralno procesno enoto dokaj neobremenjeno in prosto za opravljanje drugih nalog (umetna inteligenca, fizika, simulacija …)

Za razliko od mnogih drugih naš algoritem ne omejuje dimenzije terena na $(2^n, 2^n + 1)$. Obsežne terene obvlada tako, da enostavno prikazuje samo potrebne dele terena, ostali pa so shranjeni v pomnilniku. Zaenkrat je pomanjkljivost nenadna sprememba geometrije pri prehodih med stopnjami podrobnosti (*pop-up* učinek). V prihodnosti bomo ta problem reševali s senčilniki.

7 Viri in literatura

Asirvathan, A., Hoppe, H. 2005: Terrain Rendering using GPU-based Geometry Clipmaps, GPU Gems 2: Programming techniques for High-Performance Graphics and General-Purpose Computation.

deBoer H. 2000: E-Mersion Project. Medmrežje: http://www.connectii.net/emersion.

Duchaineau, M. A. 1997: ROAMing terrain: realtime optimally adapting meshes. IEEE Visualization.

Hoppe, H. 1997: View-dependent refinement of progressive meshes. Computer Graphiccs Proceesingd. Los Angeles.

Lindstrom, P., Koller, D., Ribarsky, W., Hodges, K. F., Faust, N., Turner, G. A. 1992: Real-time continuous level of detail rendering of height fields. Proceedings of the ACM SIGGRAPH Conference on Computer Graphics.

Lossasso, F., Hoppe, H. 2004: Geometry Clipmaps: TerrainRendering Using Nested Regular Grids. ACM Transactions on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH).

OMREŽJE *SIGNAL* NA POTI OD GPS DO GALILEA

mag. Dalibor Radovan
Geodetski inštitut Slovenije
dalibor.radovan@geod-is.si

UDK: 528.738:629.783(497.4)
COBISS: 1.17

IZVLEČEK
Omrežje SIGNAL na poti od GPS do Galilea
Predstavljeno je slovensko omrežje stalnih postaj GPS z imenom SIGNAL in njegova možna uporabnost. Navedene so prednosti uporabe omrežja in težave uporabnikov. Opisani so značilnosti razvoja v prihodnje, ko bodo operativni satelitski navigacijski sistemi kot sta Galileo in GLONASS.

KLJUČNE BESEDE
državno omrežje stalnih postaj GPS, določanje položaja, uporabniki, Galileo, GLONASS

ABSTRACT
The SIGNAL network on the way from GPS to Galileo
Slovenian permanent GPS stations network, named SIGNAL, is presented. Facts about its usability, benefits and troubles experienced by the users, are shown. The article concludes with the discussion of trends in positioning with respect to Galileo and GLONASS development.

KEY WORDS
national permanent GPS stations network, positioning, users, Galileo, GLONASS

1 Uvod – o novih paradigmah v geodeziji in določanju položaja

Geodezija je tehnična veda, ki v zadnjih dveh desetletjih deluje na trgu predvsem kot geoinformacijska storitev. Ne glede na način izvedbe teh storitev in njihove pravne, upravne ter tehnične vidike, geodeti danes skoraj izključno živijo od posredovanja in trženja geodetskih podatkov, pa naj bodo to površine, koti, razdalje, višine ali položaj, določen s koordinatami. Če k vsemu prištejemo še vizualne oblike posredovanja podatkov v katastrih, geografskih informacijskih sistemih, kartografiji, fotogrametriji in daljinskem zaznavanju, to velja še toliko bolj.

Geodetska uprava RS kot osrednja javna institucija s področja geodezije geokodirane in z njimi povezane podatke hrani v treh sklopih: nepremičninskem, topografsko-kartografskem in geodetskem. Slednjemu pravimo osnovni geodetski sistem, čeprav bi si glede na vsebino in pomen zaslužil naziv temeljni, oz. s tujko, fundamentalni geodetski sistem. Temeljni geodetski sistem je v zadnjih desetletjih doživel korenite spremembe:

- uvedbo satelitske tehnologije meritev,
- prevlado geocentričnih svetovnih in celinskih koordinatnih sistemov nad lokalnimi,
- uvedbo določanja koordinatnega sistema s kombiniranjem pasivnih in aktivnih geodetskih mrež,
- možnost dinamičnega spremljanja sprememb koordinatnega sistema,
- povezavo geodetskih merskih tehnologij s telekomunikacijskimi omrežji in medmrežjem,
- popularizacijo določanja položaja.

Če so pred leti znali določati položaj le geodeti, ga danes znajo tudi drugi strokovnjaki in celo laiki. Posledice so pojav novih storitev povezanih s položajem, povečan promet z geokodiranimi podatki in novi pristopi k trženju podatkov ter storitev.

Eno od ključnih geodetskih omrežij za določanje položaja je državno omrežje stalnih (permanentnih, referenčnih) postaj GPS z imenom *SIGNAL*, kar je kratica za SlovenIja-Geodezija-NAvigacija-Lokacija. Namen članka je pojasniti vlogo omrežja, njegovo uporabnost in razvoj v prihodnosti.

2 Relativno določanje položaja z GPS-opazovanji

Vsaka referenčna postaja GPS, ki je del omrežja *SIGNAL*, ima natančno in predhodno izmerjen položaj, zato lahko iz prejetih satelitskih signalov določi lastni položaj in ga primerja z znanim. Če diferencialne popravke oz. podatke meritev z referenčnih postaj posredujemo na uporabnikov premični sprejemnik, lahko ta z njimi izboljša položaj za približno 10 do 1000 krat. Takšne meritve omogočajo izračun položaja v realnem času vsaj na meter natančno, kadar merimo kodni zamik signalov (kodne meritve), ali celo na nekaj centimetrov, kadar merimo fazni zamik signalov (fazne meritve).

Če uporabnik svoje meritve opravi z navezavo na eno samo referenčno postajo, potem v radiju 20 km okrog nje meri z natančnostjo nekaj centimetrov. Če pa se uporabnik naveže na omrežje referenčnih postaj, centimetrsko natančnost doseže na celotnem državnem ozemlju. Pri tem je dovolj, da so postaje omrežja med seboj oddaljene do 70 km.

S povezavo prek ADSL (Assymmetric Digital Subscriber Line) in varno storitvijo VPN (Virtual Private Network) so postaje medmrežno povezane z nadzornim centrom na Geodetskem inštitutu Slovenije (Berk et al. 2006). V centru je strežniška oprema z domačo stranjo omrežja (medmrežje 1) in programom za nadzor omrežja, izračun in posredovanje podatkov opazovanj v realnem času ter za naknadno obdelavo. Posredovanje podatkov od centra do uporabnika lahko teče prek omrežja mobilne telefonije (GSM) ali prek mobilnega medmrežja (tj. medmrežnega radia, kot npr. GPRS, UMTS, EDGE). Ker je zakasnitev sporočila s podatki običajno manjša od polovice sekunde, lahko uporabnik z veliko natančnostjo meri tudi med gibanjem.

Uporabnik pa lahko meri tudi brez omrežja *SIGNAL* in šele po prihodu v pisarno z domače strani omrežja prečrpa podatke opazovanj postaj v zapisu RINEX (receiver independent exchange format).

Kadar na terenu mobilno telefonsko omrežje ni na razpolago, sateliti pa so vidni, je to tudi edina možna rešitev.

3 Cilj omrežja *SIGNAL*

Osnovni cilj omrežja *SIGNAL* je predvsem praktična vzpostavitev evropskega koordinatnega sistema ETRS89 (*European Terrestrial Reference System 1989*) v Sloveniji. Ta je določen s terenskimi geodetskimi točkami, ki jih je v sistemu ETRS89 določila Geodetska uprava RS, in z omrežjem *SIGNAL*, ki je edina aktivna in stalno delujoča uresničitev koordinatnega sistema na državnem ozemlju (Radovan 2005). Pri vsakdanjih meritvah je omrežje *SIGNAL* uporabnejše kot terenske točke, ki služijo predvsem določitvi parametrov transformacije med obstoječim in novim sistemom. V tem smislu *SIGNAL* služi predvsem geodetom pri meritvah v zemljiškem katastru, vendar pa je ob svojih funkcijah in odprtosti dostopen vsakomur, ki potrebuje meritve s podmetrsko natančnostjo, npr. v prometu, prostorskem planiranju, zaščiti in reševanju, vojski, kmetijstvu, komunali, gradbeništvu, geografskih informacijskih sistemih in še marsikje.

4 Stanje omrežja *SIGNAL*

V Sloveniji smo državno omrežje petnajstih referenčnih postaj vzpostavili postopno med letoma 2000 in 2006. Je v lasti Geodetske uprave RS in je del področja distribucije geodetskih podatkov. Omrežje *SIGNAL* je zato temeljna državna geoinformacijska infrastruktura za določanje natančnega položaja s satelitsko tehnologijo povsod na ozemlju Slovenije (Radovan 2007a, 2007b). Od začetka leta 2007 je tudi uradno operativno.

Omrežje deluje neprestano z manj kot 2 % časovnega izpada. Za izvedbo meritev je potreben ustrezen sprejem satelitskih signalov, za meritve v realnem času pa še signalov izbranega omrežja mobilne telefonije, ki pa je praviloma usmerjeno k pokrivanju prebivalstva oz. naselij, ne pa državnega ozemlja. Načeloma je v Sloveniji telefonski signal dostopen za več kot 99 % prebivalstva, a le na približno 80 % ozemlja, kar je lokalno odvisno od razporeda baznih postaj in fizičnih ovir na terenu.

5 Uporabniki

Omrežje je last Geodetske uprave Republike Slovenije, saj je bilo v celoti zgrajeno iz sredstev državnega proračuna, uporabniki pa prihajajo tako iz vrst zasebnega kot tudi javnega sektorja. Služba za GPS vodi evidenco uporabnikov. Za trenutno brezplačen priklop na omrežje uporabnik potrebuje geslo, ki pa ga istočasno ne more uporabljati druga oseba. Število registriranih uporabnikov torej ni enako številu prijavljenih podjetij, saj je lahko istemu podjetju dodeljenih več gesel, kar pa je bolj izjema kot pravilo. V začetnem obdobju, ko je omrežje sestavljala manj kot polovica planiranih postaj, je bilo registriranih uporabnikov okrog 30, med njimi le manjši del stalnih, ostali pa so omrežje preizkušali s svojo ali izposojeno opremo. Z objavo osnutkov Zakona o evidentiranju nepremičnin, v katerih pa je bilo predvideno, da bo s 1. 1. 2008 treba vse koordinate točk pri novih meritvah v zemljiškem katastru zapisati v novem koordinatnem sistemu, pa je število uporabnikov začelo skokovito rasti.

V tem trenutku je v omrežje *SIGNAL* prijavljenih okrog 300 uporabnikov, ki so vsaj enkrat dostopali do podatkov. Nekaj več kot 100 uporabnikov je uporabljalo *SIGNAL* le poiskusno, občasno ali celo enkrat samkrat. Štejemo lahko, da je relativno aktivnih uporabnikov nekaj manj kot 200 (gl. statistiko uporabe v naslednjem poglavju), kar je glede na skoraj 600 registriranih geodetov z geodetsko izkaznico in več kot 250 geodetskih firm veliko in popolnoma primerljivo z razvitimi državami. Kljub temu lahko

ocenimo, da se bo število stalnih uporabnikov dolgoročno še vsaj podvojilo, saj je omrežje namenjeno tudi GIS-uporabnikom v najširšem smislu, ti pa bodo k uporabi spodbujeni predvsem z bližajočo uvedbo novega koordinatnega sistema v Sloveniji in z vedno novimi lokacijskimi storitvami.

6 Težave uporabnikov

Vsaka zamenjava ustaljene tehnologije in metod dela pri uporabnikih običajno naleti na odpor. Za to je krivih več razlogov in uvajanje omrežja *SIGNAL* pri tem ni izjema. Tako pri javnih predstavitvah kot tudi ob osebnih stikih smo naleteli na številne pomisleke uporabnikov, kot npr. (Radovan 2007c):

- potreben je nakup nove in za natančnejše meritve relativno drage opreme,
- potrebno je nenehno izpopolnjevanje na področju novih tehnologij,
- slovenski teren je preveč gorat in gozdnat za uporabo GPS; ni sprejema zadostnega števila satelitov,
- mobilna telefonija ne deluje povsod; meritve v realnem času niso mogoče,
- za meritve položaja v takih težavnih razmerah so učinkovitejše meritve s klasičnimi geodetskimi inštrumenti, ki jih GIS-uporabniki večinoma nimajo,
- za transformacijo med obstoječim državnim in novim koordinatnim sistemom je potrebno s strani Geodetske uprave RS pridobiti transformacijske parametre, za natančna dela na detajlu pa jih je potrebno določiti iz geodetskih točk, kar pa na srečo prizadane večinoma le geodete.

V temeljit razmislek ponovno poudarimo, da določanje položaja z omrežjem *SIGNAL* ni namenjeno le delu v geodeziji in zemljiškokatastrski praksi. Merjeni položajni podatki se bodo v prihodnje še intenzivneje uporabljali v kombinaciji in s prekrivanjem podatkov drugih geoinformacijskih slojev, tako tistih, ki izvirajo iz nepremičnin in topografije ali pa iz popolnoma negeodetskih virov (Stopar et al. 2005). Razvoj lokacijskih storitev je vedno bolj interdisciplinaren, zato delna rešitev zgornjih problemov leži npr. v povezovanju GIS-uporabnikov z geodetskimi podjetji in partnerskemu sodelovanju med strokami, medsebojni izmenjavi znanja in tudi opreme. Po končanem prehodnem obdobju prehoda na nov koordinatni sistem tudi izračunavanje transformacijskih parametrov ne bo več potrebno.

7 Vpliv razvoja sistemov Galileo in Glonass

Na vseh postajah omrežja *SIGNAL* je bil do sedaj omogočen le sprejem signalov sistema GPS. V letu 2007 sta bila v omrežju dva starejša sprejemnika nadomeščena z novejšima, ki sprejemata poleg GPS tudi signale ruskega sistema GLONASS (*GLObal'naya NAvigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*), kar skrajša čas inicializacije in poveča število vidnih satelitov (medmrežje 5). Skladno s tem bo potrebno v bližnji prihodnosti posplošiti uporabo kratice GPS v GNSS (*Global Navigation Satellite System*) in npr. preimenovati Službo za GPS v Službo za GNSS. GLONASS bo v letu 2009 predvidoma sestavljalo 24 satelitov.

Galileo pa je evropska različica satelitskega sistema, ki je še v preizkusni fazi, vendar ni pod okriljem vojske, temveč se razvija v javno-zasebnem partnerstvu (medmrežje 2, 3). V orbiti je od leta 2005 prvi satelit, za 2009 so predvideni štirje, za 2012 pa 27 od končnih 30. Signali Galilea zaenkrat še niso javno dostopni. Prve lokacijske storitve Galilea bodo predvidoma na voljo čez približno pet let. Galileo bo združljiv in medopravilen z GPS in GLONASS, pa tudi omrežje *SIGNAL* se mu bo prilagodilo, ko bodo vzpostavljene tehnične možnosti.

Dokončna izgradnja Galilea bo nedvomno pospeševalec razvoja evropskega gospodarstva, še posebej pa lokacijskih storitev. Lokacijske tehnologije se že danes širijo z letno rastjo okrog 25 %. V dokumentu »Galileo Green Paper on Satellite Navigation Applications« je ocenjeno, da bo do leta 2025 trg lokacijskih izdelkov in storitev vreden okrog 400 milijard evrov in da bo na planetu do leta 2020 kar 3 milijarde satelitskih sprejemnikov za določanje lokacije s svetovnimi navigacijskimi sistemi (med-

mrežje 4). Okrog Zemlje bo verjetno krožilo blizu 100 takšnih satelitov. To pomeni, da bo meritev položaja prepletena z našim vsakodnevnim bivanjem, saj bodo satelitski sprejemniki vgrajeni ne le v pametnih telefonih, prenosnih računalnikih in prevoznih sredstvih, temveč tudi na številnih objektih in predmetih.

8 Bodoča vloga referenčnih omrežij GNSS

Stalna referenčna omrežja za določanje položaja predstavljajo dolgoročno usmeritev. Omrežja stalnih postaj povezujejo določanje položaja in telekomunikacijske storitve, s tem pa spodbujajo razvoj mobilnih in dinamičnih storitev, medmrežnih aplikacij, upodobitev lokacijskih informacij, telekartografijo in mobilni GIS. Komunikacije z GSM modemi in radiomodemi se umikajo medmrežnemu radiu in satelitskim zvezam. Omrežja se povečujejo in povezujejo med seboj. Omrežje *SIGNAL* si npr. izmenjuje podatke z obmejnimi postajami avstrijskega omrežja APOS in z nekaterimi zasebnimi postajami na Hrvaškem. V večjih državah se lokalna omrežja povezujejo v državna, število državnih omrežij pa v svetovnem merilu raste. Takšna navidezna in komunikacijska omrežja postajajo enako pomembna kot fizična (npr. komunalna) infrastruktura (Richter 2007). Omrežja GPS (oz. GNSS) so del državne geoinformacijske infrastrukture.

Mednarodni finančni mehanizmi podpirajo razvoj in povezovanje omrežij. Geodetska uprava Republike Slovenije je uspešno pridobila več kot 1,5 milijona evrov vredno donacijo norveške vlade za razvoj omrežja v povezavi s prehodom na nov koordinatni sistem. Države uvajajo obvezno uporabo omrežja za določene namene, v Sloveniji npr. v zemljiškem katastru. Za področje vzhodne Evrope se od leta 2000 uveljavlja pobuda EUPOS, ki je sčasoma omogočila pridobitev sredstev za postavitev več državnih omrežij te regije. Slovenija v tem procesu sodeluje le kot opazovalka, saj svoje omrežje že ima.

Omrežja se modernizirajo z novimi postajami, ki sprejemajo tudi signale sistema GLONASS in bodoče nove frekvence sistema GPS (L2C, L5). Interoperabilno delovanje satelitskih sistemov kot so GPS, Galileo in GLONASS pomeni za uporabnike več prednosti (Vollath 2007):

- več satelitov nad obzorjem in boljši sprejem signalov,
- nove frekvence in boljšo kakovost signalov,
- boljše sledenje signalov nizkih satelitov,
- večjo moč signala,
- boljše modeliranje napak,
- hitrejšo inicializacijo in delo s sprejemnikom,
- nekoliko boljšo natančnost.

V omrežjih se postavljajo nove redundantne postaje zaradi kontrole kakovosti. Omrežje *SIGNAL* razpolaga s programsko opremo za preizkušanje skladnosti pomičnih sprejemnikov. Ker satelitski signali lahko služijo tudi sinhronizaciji časa in ugotavljanju vremena (glede na čas potovanja signalov skozi ozračje), se klasične referenčne postaje postavljajo tudi na seizmološke, meteorološke in mareografske postaje. V Sloveniji je postaja omrežja *SIGNAL* v Kopru del mareografsko-meteorološko-hidrološke postaje, v okviru projekta Alpine Space – Alps-GPSquakenet pa bodo štiri seizmološke postaje v lasti MOP-ARSO v kratkem opremljene s stalnimi postajami GPS.

9 Sklep

Nova tehnologija prinaša večjo položajno natančnost, v realnem času, v enotnem in homogenem koordinatnem sistemu in pa neposredno merjeni trirazsežni položaj. Meritev z GPS je rutinska operacija; inženirja lahko vsaj v meritvah za potrebe GIS nadomesti delavec z nižjo izobrazbo, ob primernih pogojih sprejema signalov pa so meritve z GPS hitrejše in enostavnejše od klasičnih geodetskih. Kljub

tarifiranju storitev in podatkov omrežij v nekaterih državah, se njihova uporaba izplača vsem, uporabnikom in distributerjem. Bližajoče lansiranje evropskega satelitskega sistema Galileo bo pomen omrežja *SIGNAL* še dodatno poudarilo. Pogled v prihodnost nam poleg nekaj začetnih tehnoloških težav in sprememb paradigem, ki so do sedaj veljale za določanje natančnega položaja, razkriva predvsem dolgoročne koristi.

10 Viri in literatura

Berk, S., Kozmus, K., Radovan, D., Stopar, B. 2006: Planning and realization of the Slovenian permanent GPS network. AVN. Allg. Vermess.-Nachr. 113, 11–12.

Medmrežje 1: www.gu-signal.si (*SIGNAL* – slovensko omrežje permanentnih postaj GPS, 5. 3. 2008).

Medmrežje 2: http://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_positioning_system (Geslo Galileo positioning system na Wikipediji, 5. 3. 2008).

Medmrežje 3: http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/index_en.htm (Satelitski sistem Galileo, 5. 3. 2008).

Medmrežje 4: http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/green-paper/index_en.htm (Galileo Green Paper on Satellite Navigation Applications, 5. 3. 2008).

Medmrežje 5: http://en.wikipedia.org/wiki/Glonass (Geslo GLONASS na Wikipediji, 5. 3. 2008).

Radovan, D. 2005: Slovenian GPS network *SIGNAL*, Slovenia-Geodesy-Navigation-Location. Civil GPS Service Interface Comittee, International Information Subcomittee European meeting. Praga.

Radovan, D. 2007a: Slovensko omrežje referenčnih postaj GPS. Življenje in tehnika 58-10.

Radovan, D. 2007b: Slovensko omrežje referenčnih postaj GPS za natančno določanje položaja. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2006, zbornik predavanj. Ljubljana.

Radovan, D. 2007c: Razvoj omrežja *SIGNAL* in tržna vrednost določanja položaja. Geodetski vestnik 4. Ljubljana.

Richter, M. 2007: Welcome to the 2007 Trimble GNSS operators seminar. Otvoritvena predstavitev na Trimble GNSS operators seminar. Barcelona.

Stopar, B., Kogoj, D., Ambrožič, T., Kuhar, M., Koler, B., Petrovič, D., Savšek-Safič, S., Pavlovčič Prešeren, P., Kozmus, K., Ferlan, M., Kosmatin Fras, M., Sterle, O., Mesner, N., Pegan Žvokelj, B., Rojc, B., Karničnik, I., Radovan, D., Berk, S., Oven, K. 2005: Zasnova protokola prehoda nacionalne geoinformacijske infrastrukture v evropski koordinatni sistem in raziskava njegovih posledic za različne državne resorje in evidence. Ciljni raziskovalni program »Konkurenčnost Slovenije 2001–2006«, raziskovalni projekt št. V2-0979, Končno poročilo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Geodetski inštitut Slovenije. Ljubljana.

Vollath, U. 2007: Network RTK news. Predstavitev na Trimble GNSS operators seminar. Barcelona.

PRIKAZ LOKACIJE KLIČOČEGA OB KLICU V SILI (112)

mag. Dušan Fajfar, mag. Ksenija Majcen, Gabrijela Küzma
IGEA d. o. o.
dusan.fajfar@igea.si, ksenija.majcen@igea.si, gabrijela.kuzma@igea.si

dr. Borut Žalik
Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Univerza v Mariboru
borut.zalik@uni-mb.si

UDK: 528.738:621.395.721.5(497.4)
COBISS: 1.17

IZVLEČEK
Prikaz lokacije kličočega ob klicu v sili (112)
V letu 2007 je Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje (URSZR) v centre za obveščanje vpeljala sistem za prikaz lokacije kličočega ob klicu na telefonsko številko 112. Sistem je namenjen operativcem v centrih za obveščanje za hitrejše iskanje kličočega po nesreči s prikazom lokacije le-tega v geografskem informacijskem sistemu GIS_UJME. Vključeni so podatki stacionarne in mobilne telefonije. V nadaljevanju so predstavljene informacijske rešitve, ki omogočajo prikaz lokacije kličočega.

KLJUČNE BESEDE
klic v sili, 112, lokacija kličočega, stacionarna in mobilna telefonija, GIS

ABSTRACT
Display of the caller's location to the emergency call number (112)
In 2007, the Administration for Civil Protection and Disaster Relief of the Republic of Slovenia (URSZR) introduced the system of displaying the location of the caller to the emergency call number 112 into its emergency response centers. Intended for emergency response center operators, the purpose of the system is to speed up the search for the 112 caller after an accident has occurred by displaying the caller's location in the geographic information system GIS_UJME to the operators. Both fixed and mobile telephony data are included. Information solutions providing the ability to display the caller location are presented.

KEY WORDS
emergency call, 112, caller location, fixed and mobile telephony, GIS

1 Uvod

Za reševanje je čim hitrejša določitev natančne lokacije nesreče ključnega pomena. Natančna lokacija nesreče je v večini primerov lokacija kličočega, saj le-ta običajno kliče z mesta nesreče. Izsledki raziskav so pokazali (medmrežje 1), da vsako leto več kot milijon ljudi v Evropi, ki pokličejo klicne centre v sili, ne more navesti točnega podatka, kje se nahajajo, medtem ko v več milijonih primerov zaradi napačne informacije o lokaciji nesreče reševalci izgubljajo pomembne minute. Od 180 milijonov klicev službam za ukrepanje ob nesrečah na leto je vedno več opravljenih po mobilnih telefonih (trenutno 60–70 %). Pri okoli 15 % teh klicev, torej med 7,2 in 8,4 milijona klicev, njihove lokacije ni mogoče natančno določiti, kar povzroči znatne zamude pri zagotavljanju pomoči in celo nezmožnost, da bi jo omogočili. Tega se zaveda tudi Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje (URSZR), zato je že pred leti vzpostavila obsežno prostorsko bazo in prostorski informacijski sistem GIS_UJME, ki operativcem v centrih za obveščanje pomagata pri orientaciji v prostoru.

Zakonsko so operaterji telefonije dolžni takoj posredovati podatke lokacije kličočega na URSZR. 72. člen Zakona o elektronskih komunikacijah (UL RS 13/2007) se nanaša na številke za klice v sili, kjer je opredeljen tudi Pravilnik o kakovosti storitve za enotno evropsko telefonsko številko za klice v sili »112« (UL RS 119/2004). Zakonodaja se v drugih členih tega zakona med drugim obrača še na varovanje zasebnosti v primeru lokacijske poizvedbe.

URSZR je v novembru 2007 zaključila ciljno raziskovalni projekt »Razvoj in integracija prikaza lokacije kličočega v GIS za podporo ukrepanju ob klicu na 112« (Fajfar, Majcen 2007). V tem projektu je bila pripravljena raziskava (Štern 2006), ki je vsebovala pregled in primerjavo možnih tehnik lociranja v mobilnih omrežjih, celovit pregled ponudnikov telefonije s poudarkom na mobilnih operaterjih ter primerjava ponudnikov mobilne telefonije ter pregled zakonodaje na področju lociranja kličočega na 112 v EU in Sloveniji. URSZR je med operaterji telefonije k sodelovanju povabila stacionarnega operaterja Telekom Slovenije in mobilnega operaterja Mobitel d. d. Sledila je implementacija sistema prikaza lokacije kličočega v vse centre za obveščanje.

Lokacija kličočega ob klicu na 112 se operativcem v centrih za obveščanje URSZR prikaže na zaslonu v sistemu GIS_UJME. Prikaz lokacije kličočega se v GIS_UJME vizualno razlikuje glede na vrsto telefonije: telefonski klic s stacionarnega telefonskega priključka operaterja Telekom Slovenije je prikazan kot točka, medtem ko je telefonski klic z mobilnega telefona naročnika mobilnega operaterja Mobitel prikazan kot območje.

2 Ozadje

2.1 Centri za obveščanje

V Republiki Sloveniji deluje v okviru URSZR Center za obveščanje Republike Slovenije (CORS) in 13 regijskih centrov za obveščanje (ReCO). Vloga in organiziranost CORS ter ReCO je predpisana z zakoni in izvršilnimi predpisi. Naloge centrov za obveščanje v okviru sistema za zaščito in reševanje so:

- zbiranje in obdelava podatkov s področja zaščite in reševanja
- posredovanje podatkov reševalnim službam, državnim organom, županom in drugim
- razglašanje nevarnosti
- javno alarmiranje
- posredovanje napotkov prebivalcem za ravnanje ob nevarnostih oziroma nesrečah
- opravljanje dispečerske službe za gasilstvo, nujno medicinsko pomoč, gorsko, jamarsko, podvodno in druge reševalne službe
- posredovanje pri zagotavljanju logistične podpore reševalnim službam
- mednarodna izmenjava podatkov s področja zaščite in reševanja.

Širša javnost pozna delo centrov za obveščanje predvsem po telefonski številki 112, ki jo kliče v primeru naravnega ali drugega dogodka, ki je lahko pomemben za življenje in varnost ljudi, živali ali premoženja, ko je potrebna nujna medicinsko pomoč, pomoč gasilcev, gorskih ali jamarskih reševalcev oziroma drugih reševalnih služb. Center za obveščanje pristojnim organom in javnosti nudi informacije o stanju ter daje napotke za ravnanje, razglasi nevarnost ali pa na kraj izrednega dogodka napoti sile za zaščito, reševanje in pomoč (ZRP) ter obvesti pristojne organe in službe. Zlasti v primerih, ko je potrebna intervencija sil ZRP, je ključnega pomena hitro in pravilno ukrepanje, ki mora temeljiti na pravilnih informacijah. ReCO sodeluje tudi pri zagotavljanju logistične podpore silam ZRP na terenu ter spremlja in beleži potek intervencije.

Za opravljanje nalog povezanih z ukrepanjem ob klicu na številko 112 ReCO-ji uporabljajo informacijske in telekomunikacijske sisteme, ki zagotavljajo beleženje vseh vhodnih in izhodnih telefonskih klicev, orientacijo v prostoru, določanje lokacije dogodka in območja pristojnosti sil ZRP, ki delujejo na lokaciji dogodka. Omogočen je tudi pregled podatkov o teh silah, aktiviranje pripadnikov sil ZRP s pošiljanjem kratkih tekstovnih sporočil imetnikom sprejemnikov osebnega klica, izvajanje javnega alarmiranja in pregledovanje podatkov o najbolj pogosto uporabljanih nevarnih snoveh ter postopkov za ravnanje ob nesreči z nevarno snovjo. V celotnem sistemu geografski informacijski sistem GIS_UJME predstavlja jedro sistema, saj je integrirana praktično v vse bistvene dela sistema.

2.2 Geografski informacijski sistem GIS_UJME

Sistem GIS_UJME pokriva prostorski del informacijskega sistema zaščite in reševanja. GIS_UJME vsebujejo obsežno podatkovno bazo o prostoru. Podatke lahko razdelimo v tri glavne sklope:

- podatke o prostoru – različne topografske karte, digitalne ortofoto (DOF) posnetke, register prostorskih enot z registrom hišnih številk, register zemljepisnih imen, prometna in komunalna infrastruktura, povodja, itd.,
- ocene ogroženosti – poplavna, požarna in potresna ogroženost, nevarnost zemeljskih in snežnih plazov, skladišča, postajališča, transportne poti za nevarne snovi po direktivi Seveso II Evropske unije, itd.,
- območja delovanja sil ZRP – teritorialne gasilske enote, gasilske enote širšega pomena, gorska reševalna služba, občinski štabi civilne zaščite, kinologi, jamarji, potapljači, itd.,

GIS_UJME kot sistem oziroma kot prostorska podatkovna baza predstavlja jedro sistema za podporo ukrepanju. Pri delu operativcev v ReCO se sistem GIS_UJME uporablja v več namenov:

- za prikaz lokacije kličočega – ker večina informacij o dogodku pride prek telefona, je prva informacija, ki jo operativec dobi, lokacija kličočega.,

Slika 1: Iskalnik v sistemu GIS_UJME.

- za določitev lokacije dogodka – operativec lahko pri določanju lokacije dogodka uporablja tudi iskanje prek: naslova (RPE – kraj, ulica, hišna številka, npr.: Koprska 94), zemljepisnega imena (REZI5, npr: Triglavska severna stena), ali koordinat (Gauss-Krueger, WGS, UTM),
- za pregled in analizo prostora v okolici lokacije dogodka – uporabnik lahko iz bogate prostorske vsebine prek 100 slojev izbira poljubne vsebine in pridobiva informacije o prostoru; npr. izvede analizo števila prebivalstva v ogroženem območju.

3 Implementacija sistema prikaza lokacije kličočega s stacionarnega telefonskega priključka

Večina prijav dogodkov v center za obveščanje je sprejetih prek telefonskih klicev na telefonsko številko 112. Le desetina telefonskih klicev na 112 je sprejetih s stacionarnih telefonskih priključkov, to število pa se v primerjavi s klici iz mobilnih telefonov še zmanjšuje.

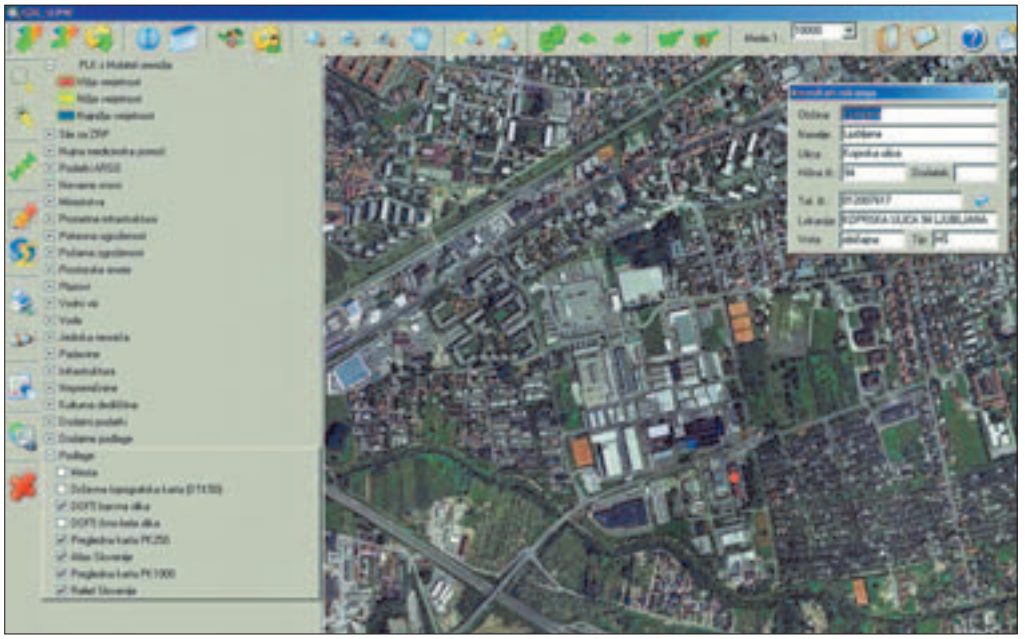
Prikaz lokacije kličočega je za operativca v centru za obveščanje enostaven. V sistemu ROK operativec izbere stacionarno telefonsko številko in izbere gumb Prikaži lokacijo. V največ štirih sekundah se v sistemu GIS_UJME prikaže točka na izbrani podlagi v merilu 1 : 10000.

Točka (koordinati X in Y) ponazarja točen naslov stacionarnega telefonskega priključka, s katerega je bil vzpostavljen klic.

Operativec lahko v GIS_UJME zamenja podlago (in sloje), na kateri je prikazana lokacija kličočega. Tako lahko na primer isto lokacijo prikaže na DOF.

Prikaz lokacije kličočega s stacionarnega telefonskega priključka trenutno temelji na telefonskih številkah operaterja Telekom Slovenije, vključno z internimi in skritimi (neobjavljenimi) telefonskimi številkami, faks številkami ter telefonskimi govorilnicami na območju Republike Slovenije. Podatki o telefonskih priključkih vsebujejo telefonsko številko, naslov, naselje, koordinato X in Y ter druge podatke. Zaradi varovanja osebnih podatkov, podatki o priimku in imenu lastnika oziroma o nazivu podjetja niso vključeni. Slika 2 prikazuje tudi podatke o locirani telefonski številki v sistemu GIS_UJME.

Slika 2: Prikaz lokacije kličočega s stacionarnega priključka v sistemu GIS_UJME.



Slika 3: Prikaz lokacije kličočega s stacionarnega priključka na barvni DOF podlagi v sistemu GIS_UJME.

Za prikaz lokacije kličočega s stacionarnega telefonskega priključka se uporabljajo naslednji sistemi:
- ROK: sistem za upravljanje in nadzor ISDN telefonske centrale v centru za obveščanje,
- SPU112plk: sistem za podporo ukrepanju ob klicu na 112 – prikaz lokacije kličočega in
- GIS_UJME: geografski informacijski sistem Ujme.

Vsi sistemi delujejo v centrih za obveščanje, to je na lokalnem nivoju.

4 Implementacija sistema prikaza lokacije kličočega mobilnega naročnika Mobitel

Enako kot za prikaz lokacije kličočega s stacionarnega priključka operativec v sistemu ROK izbere telefonsko številko, za katero želi prikazati njeno lokacijo – seveda mora biti to mobilna telefonska številka – in izbere gumb Prikaži lokacijo. V sistemu GIS_UJME se nato prikaže območje lokacije kličočega.

Z vidika operativca se zatorej prikaz lokacije kličočega z mobilnega telefona razlikuje od prikaza lokacije kličočega s stacionarnega priključka le v načinu prikaza v sistemu GIS_UJME. Namesto točke se v GIS_UJME namreč prikaže območje, v katerem se kličoči nahaja. V GIS_UJME je območje lokacije kličočega na podlagi prikazano v treh barvah:
- rdeča barva predstavlja najbolj verjetno območje kličočega,
- rumena barva predstavlja srednje verjetno območje kličočega in
- modra barva predstavlja najmanj verjetno območje kličočega.

Tudi pri prikazu lokacije kličočega z mobilnega telefona lahko operativec zamenja podlago (in sloje), na kateri je prikazano območje kličočega.

Čas, ki je potreben za prikaz lokacije kličočega z mobilnega telefona, tudi ni bistveno daljši od prikaza lokacije kličočega s stacionarnega telefonskega priključka. V povprečju traja čas za prikaz lokacije kličočega z mobilnega telefona šest sekund.

Slika 4: Prikaz lokacije kličočega z mobilnega telefona v sistemu GIS_UJME.

S tehničnega vidika je prikaz lokacije kličočega za mobilno telefonijo tehnično bolj obsežen in bolj zahteven kot za stacionarno telefonijo. Poleg lokalne ravni, ki deluje v centrih za obveščanje (sistemi ROK, SPU112plk in GIS_UJME navedeni v prejšnjem poglavju), sta v sistem vključena še centralni strežnik URSZR namenjen za prenos podatkov operaterjev telefonije in spletna storitev mobilnega operaterja Mobitel.

V primeru, da Mobitel ne more prikazati lokacije kličočega (kličoči ni Mobitelov naročnik), operativec prejme sporočilo, da izbrane telefonske številke ni možno prikazati.

5 Nova tehnologija

Zahteva EU je, da so do konca leta 2008 v prikaz lokacije kličočega vključeni vsi operaterji javne telefonije. URSZR sedaj uporablja sistem prikaza lokacije kličočega za stacionarne klice operaterja Telekom Slovenije in za mobilne klice operaterja Mobitel. Ostale operaterje mobilne telefonije ter internetne operaterje telefonije s stacionarnih telefonskih priključkov pa bo URSZR vključila v sistem za prikaz lokacije kličočega v letu 2008.

Implementiran sistem za prikaz lokacije kličočega uporablja metodo »pull« komunikacije med mobilnim operaterjem Mobitel in URSZR. URSZR od Mobitela zahteva lokacijo kličočega, nakar Mobitel lokacijo kličočega vrne URSZR. V letu 2008 bo URSZR nadgradila obstoječi sistem za prikaz lokacije kličočega, v katerem bo metoda komunikacije prešla na metodo »push«. Operater mobilne telefonije je dolžan ob vzpostavitvi klica na 112 takoj posredovati lokacijo kličočega, ne da bi URSZR to zahtevala. Nadgradnja vključuje tudi spremembo načina prenosa podatkov naročnikov stacionarnih priključkov. Operaterji bodo na URSZR prenašali podatke o spremembah naslovov svojih naročnikov sproti. URSZR bo torej imela vedno ažurne podatke vseh stacionarnih naslovov v Republiki Sloveniji.

Zanimivo je mobilno področje internetne telefonije (*Voice over Internet Protocol* – VoIP). Uporabniki internetne telefonije, ki uporabljajo telefon z naslova, navedenega na naročniškem razmerju s svojim operaterjem, so vključeni v stacionarno telefonijo. Če pa uporabnik internetne telefonije prenese svoj računalnik na drug naslov, potem je njegova lokacija neznana. Zlasti zanimivo postane področje mobilne telefonije VoIP, ko uporabnik telefonira s svojega računalnika v tujini. Ker je uporaba telefonije VoIP v Republiki Sloveniji zaenkrat še v večji meri stacionarna, se je URSZR odločila prikazati lokacijo kličočega naročnika telefonije VoIP na naslovu, ki ga naročnik ima s svojim operaterjem VoIP.

EU se vse bolj zaveda tudi pomena nadzora klicev v sili v povezavi s cestnim prometom. Na cestah EU letno umre prek 40.000 oseb in 1,8 milijona oseb je ponesrečenih v več kot 1.4 milijona nesrečah (medmrežje 2). Večkrat se zgodi, da pride do nesreče na način, kjer udeleženci niso zmožni poklicati 112, rezultat zapoznelega reševanja pa je lahko usoden. Zato je EU sprejela iniciativo *Emergency Call (eCall)*. V okviru le-te naj bi vsa nova vozila od leta 2009 naprej že vsebovala mehanizme samodejne zaznave nesreče in posredovanja informacije v klicne centre, le-ti pa bodo morali svoje mehanizme sprejema klicev in podatkovnih sporočil ustrezno prilagoditi.

Tehnologija *Global Positioning System* (GPS), ki ga uporablja tudi eCall, bo v prihodnosti vedno bolj pogosta. Vedno večje število mobilnih telefonov ima vgrajeno tehnologijo GPS. Ker omogoča natančno določitev lokacije kličočega (koordinati X in Y) bo tehnologija GPS za reševanje izjemnega pomena, saj bo v bodoče torej možno tudi mobilne klice locirati natančno – s točko namesto z območjem.

6 Sklep

Republika Slovenija je v procesu integracije v sisteme varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami znotraj EU. V EU temu področju posvečajo veliko pozornost in delujejo v smeri poenotenja sistemov vseh članic, da bi omogočili čim boljše sodelovanje in s tem povečali učinkovitost sil ZRP.

V preteklem letu je URSZR v vse centre za obveščanje vpeljala sistem za prikaz lokacije kličočega, tako za klice s stacionarnih telefonskih priključkov operaterja Telekom Slovenije kot za klice z mobilnih telefonov naročnikov mobilnega operaterja Mobitel. Sistem GIS_UJME operativcu v centru za obveščanje prikaže lokacijo kličočega s stacionarnega telefonskega priključka s točko, z mobilnega telefona pa z območjem. URSZR je med prvimi v EU s sistemom, ki omogoča prikaz lokacije kličočega ob klicu na telefonsko številko 112.

V letu 2008 bo URSZR v sistem prikaza lokacije kličočega vključila vse operaterje telefonije ter vzpostavila tehnologijo »push« komunikacije z mobilnimi operaterji telefonije. Nove tehnologije na področju mobilne telefonije bodo v kratkem omogočale popolnoma natančno določitev lokacije nesreče in s tem hitro in učinkovitejše reševanje ponesrečenih.

7 Viri in literatura

Fajfar D., Majcen K. 2007: Zaključno poročilo CRP »Znanje za varnost in mir 2006–2010« Razvoj in integracija prikaza lokacije kličočega v GIS za podporo ukrepanju na 112. Ljubljana.

Medmrežje 1: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52005DC0431:SL:HTML (14. 9. 2005).

Medmrežje 2: http://www.itktb.hu/resource.aspx?ResourceID=049_eCall_en_V1 (2. 2. 2006).

Pravilnik o kakovosti storitve za enotno evropsko telefonsko številko za klice v sili »112«. UL RS 118/2004.

Štern A. 2006: Razvoj in integracija prikaza lokacije kličočega v GIS za podporo ukrepanju na 112 – Raziskava. Ljubljana.

Zakon o elektronskih komunikacijah (ZEKom). UL RS 43/2004 in 13/2007.

VLOGA GIS-OV V NOVIH ŠTUDIJSKIH PROGRAMIH FAKULTETE ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO UNIVERZE V LJUBLJANI

dr. Dušan Petrovič, mag. Samo Drobne, dr. Radoš Šumrada
Oddelek za geodezijo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani
dusan.petrovic@fgg.uni-lj.si, samo.drobne@fgg.uni-lj.si, rados.sumrada@fgg.uni-lj.si

UDK: 659.2:004:91(497.4)
378.016(497.4)
COBISS: 1.17

IZVLEČEK
Vloga GIS-ov v novih študijskih programih Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani
V skladu z načeli bolonjske prenove študijskih programov so bili na Oddelku za geodezijo Fakultete za Gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani pripravljeni štirje novi študijski programi s področja prostorskih znanosti. Sočasno smo poleg oblikovne izvedli tudi prenovo vsebine programov, ob kateri se je znova postavilo vprašanje obsega in vloge znanj iz geografski informacijskih sistemov v novih študijskih programih. Prispevek opisuje obseg in vsebine tehnologije GIS-ov v novih programih in primerjavo z nekaterimi izbranimi programi drugih evropskih univerz.

KLJUČNE BESEDE
študijski programi, bolonjski proces, geoinformatika, prostorske znanosti

ABSTRACT
Role of geoinformation science in new study programmes at University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering
At the University of Ljubljana, Faculty at Civil and Geodetic Engineering, Department of Geodesy four new study programmes from spatial domain were prepared, which are based on the principles of harmoniztion of educational programs (Bologna process). Together with the conceptual conversion of the former programmes the extent and the meaning of particular scientific fields were evaluated, too. In the article, the quantity and the content of GIS technology field within new studying programmes are presented and also compared with the selected study programs of comparable European universities.

KEY WORDS
study programmes, Bologna process, geoinformatics, spatial sciences

1 Uvod

Bolonjska prenova študijev predstavlja korak v čim večjo povezljivost in primerljivost evropskega visokošolskega prostora. Ker predstavlja tudi neke vrste poenotenje raznolikih študijev in študijskih sistemov in s tem odločno posega v akademsko svobodo visokošolskih učiteljev in univerz kot institucij, je bila deležna zelo različnih odzivov, tudi mnogih odklonilnih. Kljub temu je proces z nekaterimi dopolnitvami sprejet v večini evropskih držav in prenesen tudi v slovenski pravni red z Zakonom o visokem šolstvu iz leta 2004. V skladu z določili zakonodaje je treba v celoti prehod na bolonjski študij izvesti najkasneje v študijskem letu 2009/10, ko ne bo več mogoče razpisati predbolonjskih študijskih programov.

Področje geoinformatike se v slovenskem visokošolskem prostoru pojavlja v različnih študijskih programih različnih Visokošolskih zavodov, tako v okviru Univerze v Ljubljani, kot tudi na nekaterih fakultetah preostalih univerz ali samostojnih visokošolskih zavodih. V največjem obsegu se pojavlja na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani, kjer se razvija predvsem v okviru Katedre za geoinformatiko in katastre nepremičnin. Trenutno se na FGG izvajata dva dodiplomska, univerzitetni in visoki strokovni študij geodezije, ki v vključujeta študijske vsebine geoinformatike in sta bila nazadnje vsebinsko prenovljena med leti 1996 in 1999 v okviru EU Phare-Tempus projekta (Šumrada 1996; Šumrada in Stubkjær 2001).

2 Prenovljeni študijski programi na FGG

Prenovo študijskih programov v skladu z načeli bolonjske reforme smo na Oddelku za geodezijo Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani intenzivno pričeli v letu 2006. Po enotni odločitvi fakultete, da sprejme na okoliških primerljivih tehničnih fakultetah prevladujoč model študija 3 + 2, smo se lotili prenove. Dosedanja študija nadomeščajo štirje novi študijski programi: univerzitetni študijski program prve stopnje **geodezija in geoinformatika** (Petrovič in Prosen 2007a) ter visokošolski strokovni študijski program prve stopnje **tehnično upravljanje nepremičnin** (Drobne in Prosen 2007) in drugostopenjska magistrska študijska programa **geodezija in geoinformatika** (Petrovič in Prosen 2007b) ter **prostorsko načrtovanje** (Drobne in Pogačnik 2007). Poleg oblikovne spremembe študijev, ki so jo narekovale zahteve glede oblikovanj bolonjskih študijskih programov, smo nove študije v največji možni meri tudi vsebinsko prenovili. Prevetrili smo vsebine posameznih predmetov pa tudi pomen in razmerja posameznih področij, zajetih v študijih. Pri tem smo se v veliki meri zgledovali po izkušnjah in vsebinah primerljivih študijev v različnih evropskih univerzah, med drugim smo analizirali študijske programe Tehniških univerz na Dunaju, v Münchnu in v Berlinu, Univerze ETH v Zürichu, Univerze v Newcastlu, Helsinške tehniške univerze, Politehnike Milano in Kraljevega tehniškega inštituta v Stockholmu.

Pri prenovi študijev smo se oprli tudi na raziskavi o dosedanjih študijskih programih, opravljeni med diplomanti študijev geodezije (Drobne in Modic 2007) ter med podjetji ter ustanovami, ki so najpogostejši delodajalci diplomantom študijev geodezije (Drobne s sodelavci 2005). Rezultati raziskave med diplomanti so pokazali, da po oceni diplomantov geodezije ne potrebujejo dodatnih znanj s področja GIS-ov in da je dosedanji obseg teh znanj dovolj obsežen. Kljub temu pa prepoznavajo vsebine s področij GIS-ov kot zelo pomembne za razvoj stroke. Po drugi strani pa njihovi delodajalci ugotavljajo, da je prav boljše poznavanje informacijskih tehnologij in njihove uporabe v geodeziji velika kakovost zadnjih generacij diplomantov študijev geodezije. Zaradi navedenih predpostavk se sam obseg vsebin s področja GIS-ov v postopku bolonjske prenove študijev geodezije ni bistveno spremenil.

Usmeritev posameznih novih študijskih programov je razvidna že iz njihovih imen. Dosedanja študijska programa, univerzitetni in visokošolski strokovni sta se imenovala zgolj **geodezija**. Imena novih študijskih programov pa odražajo njihove usmeritve. Tako se bosta izvajala po novem na prvi in drugi

stopnji univerzitetni oziroma magistrski študijski program **Geodezija in geoinformatika** – s čimer smo, podobno kot pri programih primerjanih fakultet, poudarili povečan pomen informacijskih znanosti in znanj v geodeziji. Visokošolski strokovni študijski program prve stopnje smo poimenovali **Tehnično upravljanje nepremičnin** – s čimer smo poudarili samo usmeritev v upravljanje nepremičnin in njihovih evidenc. Magistrski študijski program druge stopnje **Prostorsko načrtovanje** predstavlja nadomestek dosedanje prostorske smeri univerzitetnega študija, delno pa vključuje tudi vsebine dosedanjega Interdisciplinarnega podiplomskega študija prostorskega in urbanističnega planiranja (IPŠPUP).

3 Delež vsebin s področja GIS-ov na UL FGG in na primerjanih fakultetah

Geoinformatika je postala pomemben del geodetske stroke in vseh strok, ki se ukvarjajo z evidentiranjem, analiziranjem in načrtovanjem prostora. Količino podatkov je mogoče učinkovito obdelati le v sklopu geografskih informacijskih sistemov (GIS), ki združujejo računalniško in programsko opremo, ustrezne podatke ter uporabnike. Zaradi tega najdemo vsebine geoinformatike v vseh štirih študijskih programih – največ pa v obeh študijih geodezija in geoinformatika. Natančen delež obsega znanj iz geoinformatike je težko natančno opredeliti. Delež predmetov, ki v imenu neposredno vsebujejo ime »geoinformatika« namreč nikakor ne zajema vseh znanj iz geoinformatike; ta so vključena tudi v drugih predmetih. V analizi v nadaljevanju zato ločeno obravnavamo obojne predmete z vsebino geoinformatike.

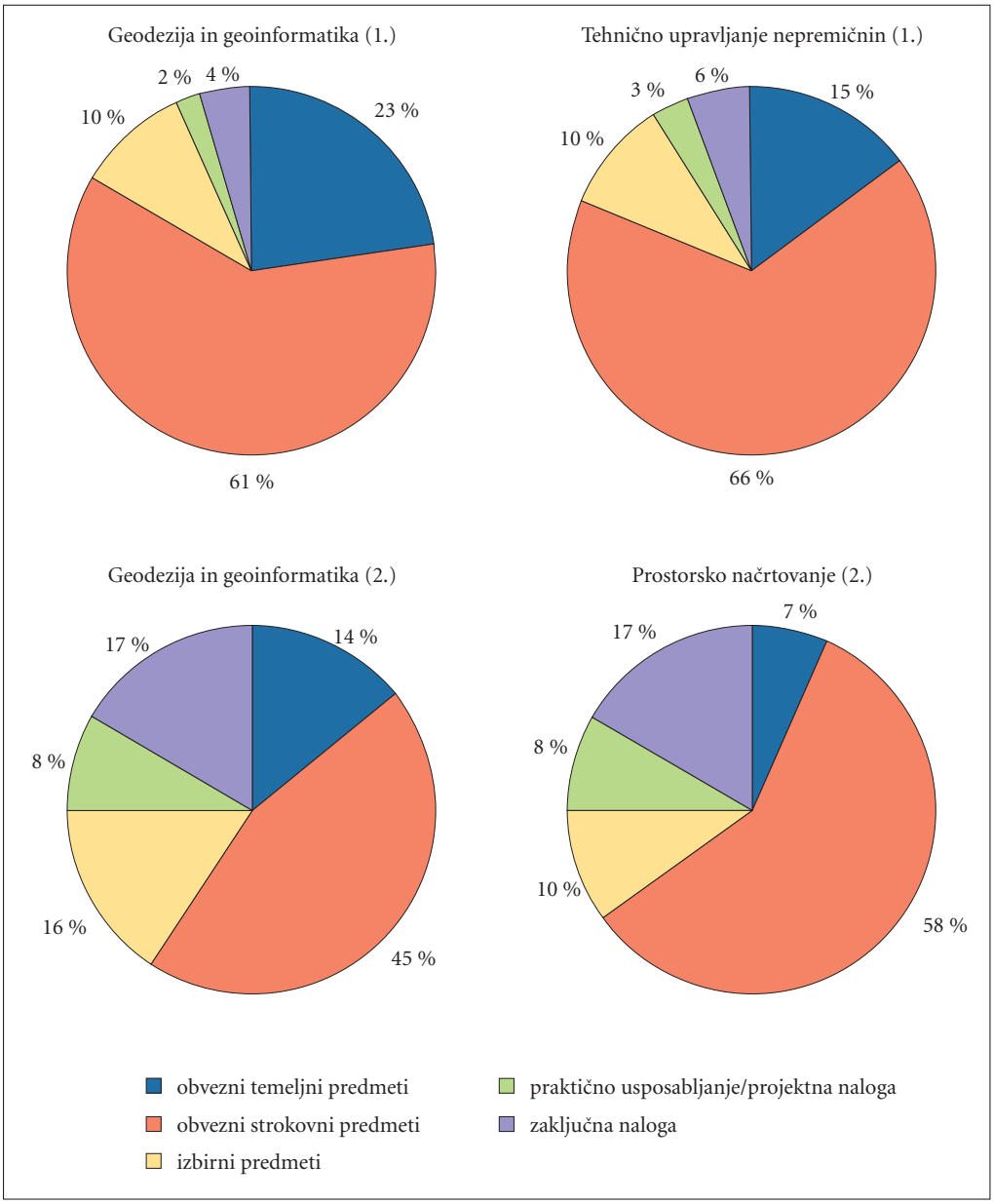
V skladu z načeli oblikovanja bolonjskih študijskih programov je vsak letnik študija ovrednoten s po 60 kreditnimi točkami, kjer vsaka kreditna točka predstavlja 30 ur dela študenta. Polovica, 15 ur, je predvidenih kot organizirano delo (predavanja, vaje, seminar), preostala polovica pa kot individualno delo študenta v obliki seminarskih nalog, projektov in priprave na izpit. Študent tako v letniku študija opravi 1800 ur. Triletni študij prve stopnje tako tvori 180 kreditnih točk (3 krat 60), dvoletni študijski program druge stopnje pa 120 kreditnih točk. V ta obseg so vključeni tudi zaključna naloga, praktična usposabljanja na prvi stopnji, projektna naloga na drugi stopnji, terenske vaje in izbirni predmeti,

Preglednica 1: Razmerje obveznosti in delež vsebin GIS-ov v novih študijih geodezije na UL FGG (navedene so kreditne točke po ECTS ter deleži).

stopnja študija	prva, dodiplomska				druga, magistrska			
študijski program	Geodezija in geoinformatika		Tehnično upravljanje nepremičnin		Geodezija in geoinformatika		Prostorsko načrtovanje	
skupno število kreditnih točk	180	100,0 %	180	100 %	120	100,0 %	120	100,0 %
obvezni temeljni predmeti	41	22,8 %	27	15,0 %	17	14,2 %	8	6,7 %
obvezni strokovni predmeti	109	60,5 %	119	66,1 %	54	45,0 %	70	58,3 %
izbirni predmeti	18	10,0 %	18	10,0 %	19	15,8 %	12	10,0 %
praktično usposabljanje oz. projektna naloga (2. stopnja)	4	2,2 %	6	3,3 %	10	8,3 %	10	8,3 %
zaključna naloga	8	4,4 %	10	5,6 %	20	16,7 %	20	16,7 %
delež predmetov geoinformatike	10	5,6 %	11	6,1 %	4	3,3 %	4	3,3 %
delež predmetov, ki še vključujejo geoinformatiko	38	21,1 %	44	24,4 %	23	19,2 %	58	48,3 %

ki predstavljajo najmanj desetino obsega študija. Predmeti se delijo na obvezne temeljne, obvezne strokovne, izbirne strokovne ter zunanje izbirne.

Razmerje posameznih obveznosti študenta pri vseh štirih študijskih programih je prikazano v preglednici 1, kjer prvi stolpec vsebuje število kreditnih točk, drugi pa delež v odstotkih. Razmerja so prikazana tudi na sliki 1. Poleg navedenih deležev je na vsaki stopnji študija predviden še po en izbirni



Slika 1: Razmerje obveznosti v novih študijih geodezije na FGG UL.

predmet iz področja geoinformatike v obsegu 4 kreditnih točk, prav tako pa je geoinformatika vključena tudi v nekatere druge izbirne predmete.

Za primerjavo smo izvedli podobno analizo za oba dosedanja dodiplomska študija geodezije na UL FGG, le da pri njih namesto kreditnih točk pri računanju deležev upoštevamo število ur posameznega predmeta. Rezultate prikazuje preglednica 2.

Študiji druge stopnje v primerljivih državah so večinoma sestavljeni modularno s formalno zelo veliko možnostjo izbirnosti in zato je analiza deleža posameznih predmetov po sklopih odvisna od izbire predmetov, deleži pa se zaradi tega lahko tudi zelo spreminjajo.

Preglednica 2: Delež vsebin GIS-ov v dosedanjih študijih geodezije na UL FGG (navedeno je število ur ter deleži).

študijski program	univerzitetni študij geodezije		visokošolski strokovni študij geodezije	
skupno število ur pouka	3600	100,0 %	2225	100,0 %
smer GEODEZIJA				
delež predmetov geoinformatike	165	4,6 %	90	4,0 %
delež predmetov, ki še vključujejo geoinformatiko	555	15,4 %	315	16,0 %
Smer PROSTORSKA INFORMATIKA				
delež predmetov geoinformatike	225	6,2 %	135	6,0 %
delež predmetov, ki še vključujejo geoinformatiko	915	25,4 %	450	20,0 %

V preglednicah 3, 4 in 5 pa je prikazano razmerje obveznosti in delež vsebin GIS-ov v primerjanih študijskih programih na obravnavanih tujih fakultetah (TUM, München; TUW, Dunaj; ETH, Zürich, KTH, Stockholm, Politecnico di Milano, Milano).

Preglednica 3: Razmerje obveznosti in delež vsebin GIS-ov v študijskih programih geodezije na TUM, München in TUW, Dunaj (navedene so kreditne točke po ECTS ter deleži).

univerza, fakulteta	Tehniška univerza München (TUM), Nemčija		Tehniška univerza Dunaj (TUW), Avstrija	
študijski program	geodezija in geoinformatika		geodezija in geoinformatika	
stopnja študija	prva, dodiplomska		prva, dodiplomska	
skupni število kreditnih točk	180	100,0 %	180	100,0 %
obvezni temeljni predmeti	43	23,9 %	37,5	20,8 %
obvezni strokovni predmeti	126	70,0 %	70 + 30 modul	55,6 %
izbirni predmeti	0	0 %	28	15,6 %
praktično usposabljanje	2	1,1 %	0	0 %
zaključna naloga	9	5,0 %	14,5	8,1 %
delež predmetov geoinformatike	10,5	5,8 %	9	5,0 %
delež predmetov, ki še vključujejo geoinformatiko	46,5	25,8 %	43,5	24,2 %

Preglednica 4: Razmerje obveznosti in delež vsebin GIS-ov v študijskih programih geodezije na ETH, Zürich in KTH, Stockholm (navedene so kreditne točke po ECTS ter deleži).

univerza, fakulteta	Tehniška visoka šola Zürich (ETH), Švica		Kraljevi inštitut za tehnologijo (KTH), Švedska	
študijski program	geomatika in planiranje		geodezija in geoinformatika	
stopnja študija	prva, dodiplomska		druga, magistrska	
skupni število kreditnih točk	180	100 %	120	100 %
obvezni temeljni predmeti	60	33,3 %	5	4,2 %
obvezni strokovni predmeti	94	52,2 %	85	70,8 %
izbirni predmeti	12	6,7 %	10	8,3 %
praktično usposabljanje	4	2,2 %		0
zaključna naloga	10	5,6 %	20	16,7 %
delež predmetov geoinformatike	9	5 %	20	16,7 %
delež predmetov, ki še vključujejo geoinformatiko	36	20 %	25	20,8 %

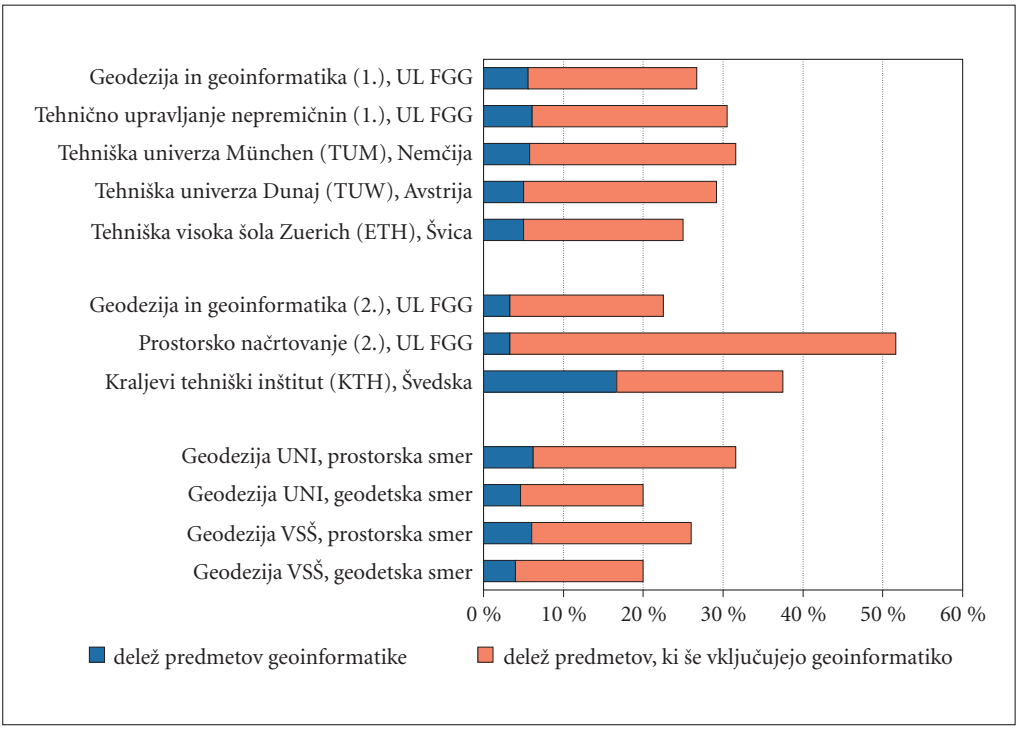
Preglednica 5: Razmerje obveznosti in delež vsebin GIS-ov v študijskih programih geodezije na Politecnico di Milano, Milano (navedene so kreditne točke po ECTS ter deleži).

univerza, fakulteta	Politecnico di Milano, Italija	
študijski program	okoljsko inženirstvo in planiranje	
stopnja študija	prva, dodiplomska	
skupni število kreditnih točk	180	100 %
obvezni temeljni predmeti	32,5	18,1 %
obvezni strokovni predmeti	120	66,7 %
izbirni predmeti	10	5,6 %
praktično usposabljanje	10	5,6 %
zaključna naloga	7,5	4,2 %

Slika 2 prikazuje delež poučevanja vsebin GIS-ov v primerjanih tujih študijskih programih: zgornjih pet študijskih programov so študijski programi prve stopnje, na sredini so obravnavani trije študijski programi druge stopnje, spodaj pa sta obravnavana obstoječa študija geodezije na FGG (ločeno za geodetsko in prostorsko- informacijsko smer).

Slika 2 prikazuje, da so deleži predmetov s področja GIS-ov na obravnavanih študijih prve stopnje dokaj primerljivi. Prav tako tudi deleži v dosedanjih, obstoječih študijih na UL FGG od tega poprečja bistveno ne odstopajo, čeprav je delež vsebin GIS-ov na prostorski smeri študija znatno večji kot na geodetski smeri.

Precej drugače je na obravnavanih študijih druge stopnje, kjer so primerjani študijski programi večinoma izvedeni modularno. Moduli, ki se nanašajo predvsem na geoinformatiko vsebujejo tudi do polovico vsebin tehnologije GIS-ov, nekateri drugi pa komaj nekaj odstotkov.



Slika 2: Delež vsebin geoinformatike v študijskih programih (zgornja skupina so študijski programi prve stopnje, na sredini so študijski programi druge stopnje, spodaj pa obstoječa študijska programa geodezije).

4 Sklep

Vsebinska prenova obstoječih študijev geodezije v skladu z načeli bolonjske reforme ni bistveno spremenila samega obsega vsebin GIS-ov v študijskih programih geodezije, saj so bile vsebine GIS-ov dodatno vključene v študijske programe geodezije in predmeti s področja GIS-ov prenovljeni že v prenovi študijev v okviru projekta Phare-Tempus (Šumrada in Stubkjær 2001) ob koncu 90-ih let.

Analiza je pokazala, da je obseg vsebin s področja GIS-ov v novih študijskih programih primerljiv z obravnavanimi primerjanimi študijskimi programi v tujini. Vsekakor pa delež ter predviden obseg ur še nista zadostno jamstvo za uspešno in učinkovito prenašanje znanja in veščin s področja GIS-ov na študente. Pomembna je tudi skladna umestitev in prilagoditev vsebine predmetov s področja tehnologije GIS-ov temeljnim in ostalim strokovnim predmetom. K temu bistveno prispeva tudi sprotno vključevanje novih metod, spoznavanje novih postopkov analiz in obdelave podatkov, novih dostopnih prostorskih podatkov, uvajanje novih programskih rešitev ter seveda tudi ustrezna računalniška oprema. Slednje pa je mogoče le ob primernem znanstvenem in strokovnem delu nosilcev vsebinskega področja, za kar si na UL FGG vseskozi prizadevamo.

5 Viri in literatura

Drobne, S., Prosen, A. (ur.) 2007: Vloga za pridobitev soglasja k visokošolskemu strokovnemu študijskemu programu prve stopnje Tehnično upravljanje nepremičnin Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana.

Drobne, S., Breznikar, A., Babič, U. 2005: Mnenje diplomantov o učinkovitosti študija geodezije. Geodetski vestnik 50-2. Ljubljana.

Drobne, S., Modic, I. 2007: Mnenje delodajalcev o učinkovitosti študija geodezije. Geodetski vestnik 51-1. Ljubljana.

Drobne, S., Pogačnik, A. (ur.) 2007: Vloga za pridobitev soglasja k magistrskemu študijskemu programu druge stopnje Prostorsko načrtovanje Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana.

Petrovič, D., Prosen, A. (ur.) 2007a: Vloga za pridobitev soglasja k univerzitetnemu študijskemu programu prve stopnje Geodezija in geoinformatika Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana.

Petrovič, D., Prosen, A. (ur.) 2007b: Vloga za pridobitev soglasja k magistrskemu študijskemu programu druge stopnje Geodezija in geoinformatika Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana.

Šumrada, R. 1996: Tempus projekt za izboljšanje izobraževanja o okolju in infrastrukturi. Geodetski vestnik 40-4. Ljubljana.

Šumrada, R., Stubkjær, E. 2001: Improved education programmes through the Phare-Tempus project. GIS 2001, Conference proceedings. Vancouver.

TEMELJNA GEOINFORMACIJSKA ZNANJA NA RAZLIČNIH RAVNEH JAVNEGA IZOBRAŽEVANJA

dr. Marko Krevs
Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani
marko.krevs@ff.uni-lj.si

UDK: 91:659.2:004
37.016:91
COBISS: 1.17

IZVLEČEK

Temeljna geoinformacijska znanja na različnih ravneh javnega izobraževanja

Katera so »temeljna geoinformacijska znanja«, ki naj bi jih pridobili učenci, dijaki oziroma študenti v času svojega javnega šolanja? Ali je takšno pričakovano znanje in veščine sploh mogoče opredeliti, nato pa tudi doseči v praksi? Od konca 1980. let je nastalo več dokumentov, ki na različne načine in različno uspešno poskušajo odgovoriti (tudi) na ta vprašanja. Med njimi po celovitosti in povezovalni vlogi izstopajo NCGIA Core Curriculum, The National Geography Standards in Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge. Vsi navedeni dokumenti so nastali v ZDA, medtem ko se je v Sloveniji, tako kot v Evropi, geoinformacijsko izobraževanje večinoma razvijalo razdrobljeno, s šibkimi povezavami na primer med izobraževanjem in geoinformacijskim trgom, celo med izobraževalnimi ustanovami znotraj posameznih univerz. V prispevku so predstavljena izhodišča, začetki in perspektive razprav o možnostih priprave dokumenta, ki bi na zgornja vprašanja poskusil odgovoriti čim bolj v skladu z evropsko raznovrstnostjo na področju geoinformacijskega izobraževanja in zaposlovanja. V tem kontekstu so izpostavljene posebnosti geoinformacijskega izobraževanja v Sloveniji ter slovenski prispevek k pripravi dokumenta

KLJUČNE BESEDE
geoinformatika, GIS, izobraževanje, geografija, prostorske vede, učni načrt

ABSTRACT

Core geoinformatic knowledge achieved at different levels of public education

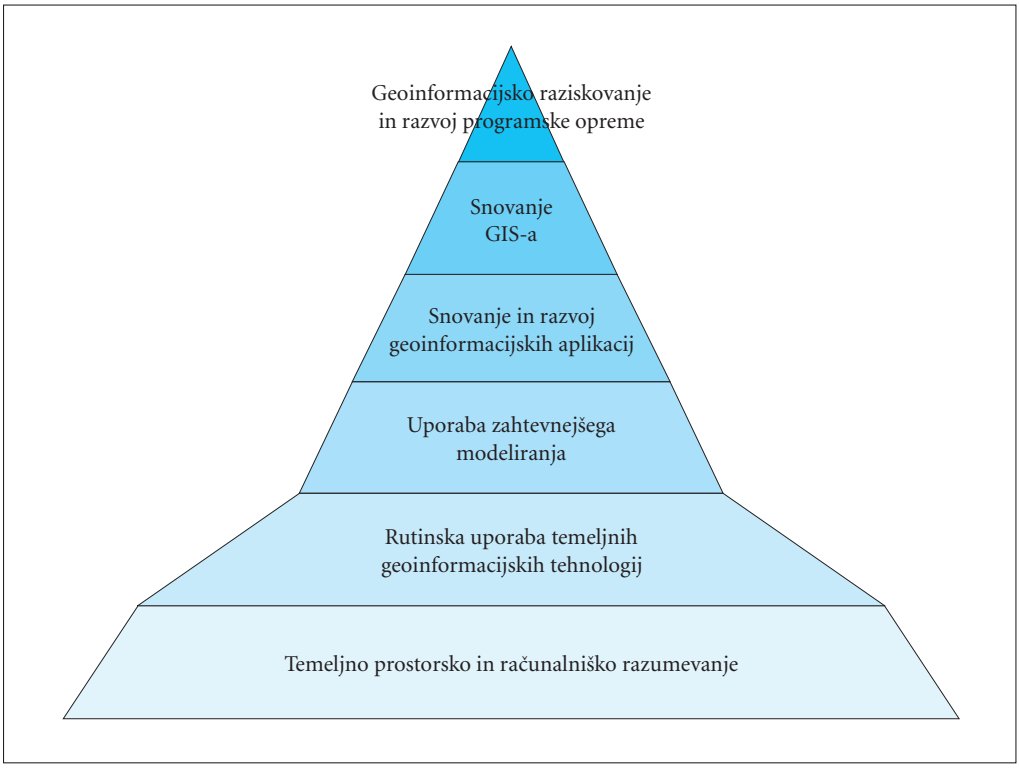
Which is the »core geoinformatic knowledge« to be acquired by learners at different levels of public education? Can such knowledge and skills be defined, and then also practically achieved? Since late 1980s these questions have been differently, and with different success raised within several documents. Among them NCGIA Core Curriculum, The National Geography Standards and Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge receive special attention due to their complexity and binding role. All mentioned documents originate in USA, while in Slovenia as well as in Europe geoinformatic education developed in a crumbled manner, characterized by weak inter-linkages e. g. between education and geoinformatic market, even among educational institutions within individual universities. Beginnings and perspectives of debates about the possibilities to prepare a document that would answer to the above questions, as much as possible in accordance with European diversity of geoinformatic education and employment, are presented in the paper. Specificities of geoinformatic education in Slovenia and Slovenian contribution to the document are outlined in this context.

KEY WORDS
geoinformatics, GIS, education, geography, spatial disciplines

1 Spreminjajoči se kontekst geoinformacijskega izobraževanja

Pred približno 15–20 leti je bila geoinformatika sicer hitro rastoče pedagoško področje, a vsebinsko še vedno obvladljivo kot celota. Univerzitetni učitelji so na podlagi razmeroma majhnega števila učbenikov, zmogljivosti dostopne programske opreme in ustreznih podatkov, »jedrnega kurikula« NCGIA in lastne presoje ali izkušenj opredelili »temeljne« geoinformacijske vsebine, iz katerih so sestavili študijski program (pogosto le enega samega) predmeta. Ti predmeti, praviloma imenovani kar »GIS«, se sprva med različnimi disciplinami niso pomembno razlikovali. Do danes se je vsebinski obseg geoinformatike in njene uporabe na različnih področjih izrazito povečal. Na nekaterih strokovnih področjih so uvedli dodatne geoinformacijske predmete, povečale so se razlike med tovrstnimi predmeti iz različnih strok. Nobena stroka (razen seveda na novo nastajajoča geoinformatika oziroma geografska informacijska znanost in tehnologija) ne zmore več v celoti »pokrivati« vseh danes aktualnih vsebin. Zato v svoje študijske programe vključujejo le izbrane geoinformacijske vsebine, s čimer se stopnjuje raznolikost geoinformacijskega izobraževanja.

Univerzitetni študij geoinformatike lahko danes na splošno razdelimo na dve kategoriji (Krevs 2007). Prvo predstavljajo študiji, v katerih ima geoinformatika osrednji položaj v študijskem programu. V drugo kategorijo sodijo študijski programi, v katerih geoinformatika predstavlja le manjši del študijskih vsebin. Večina študijskih programov geografije, prostorskega načrtovanja, krajinske arhitekture, gozdarstva in številnih drugih disciplin z močnejšim poudarkom na prostorskem vidiku sodi v omenjeno drugo kategorijo. Geoinformatika v takšnih študijih večinoma deluje kot »dopolnilni«, »metodološki«



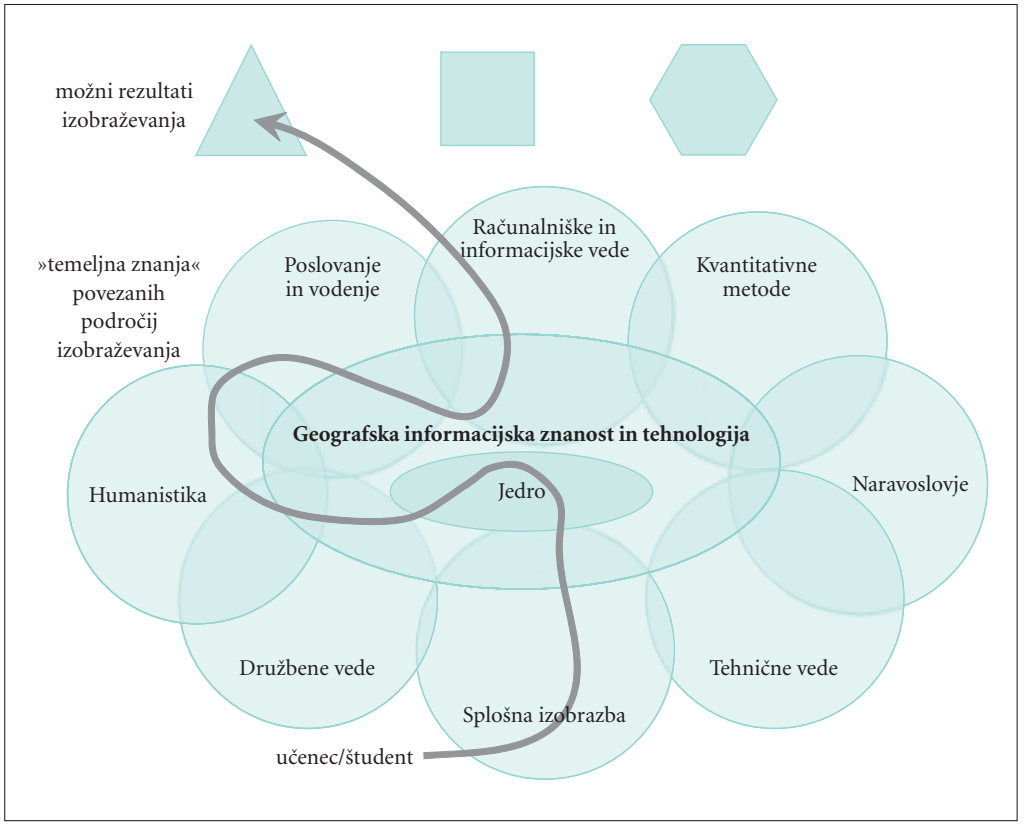
Slika 1: Piramida vlog strokovnjakov s področja geografske informacijske znanosti in tehnologije (Marble 1998).

ali »veščinski« predmet, pri katerem študenti pridobijo nekatere geoinformacijske veščine in znanja, ki podpirajo študij pri drugih predmetih oziroma omogočajo ustrezno lastno raziskovalno delo (na primer pri pripravi diplomskega ali podiplomskega dela).

Z vse boljšo tehnično opremljenostjo šol, dviganjem splošne ravni informacijsko-komunikacijske pismenosti ter vse večjim številom lahko dostopnih in uporabniško nezahtevnih geoinformacijskih orodij se vse bolj uresničujejo ideje o uvedbi geoinformacijskih vsebin tudi na pred-univerzitetni, zlasti srednješolski ravni izobraževanja. Ker pa ta proces poteka zelo neenakomerno in za srednješolsko izobraževanje (predvsem v okviru geografije) večinoma ni obvezujoč, je ta nova znanja in veščine težko ustrezno upoštevati pri snovanju geoinformacijskih vsebin za visokošolski študij.

Današnja odločitev, katere geoinformacijske vsebine in veščine so »temeljne« z vidika posamezne stroke, potreb na trgu delovne sile, nenazadnje pa tudi »izvedljive« z vidika razpoložljivega časa v okviru študijskega programa, usposobljenega kadra in drugih dejavnikov, torej nikakor ni lahka. Toge, hierarhične poglede na »gradnjo« geoinformacijskih znanj (slika 1) danes nadomeščajo bolj prilagodljivi in realistični (slika 2), ki bolj ustrezajo danes prevladujočemu izobraževanju »geoinformatike za ne-geoinformatike«.

Od konca osemdesetih let je nastalo več dokumentov, ki poskušajo pregledno vsebinsko urediti področje geoinformacijskega izobraževanja, oziroma so lahko v pomoč pri utemeljevanju pomembnosti



Slika 2: Shematičen pogled na izobraževalno pot skozi »temeljna znanja« geografske informacijske znanosti in tehnologije ter drugih izobraževalnih področij do enega izmed mnogih možnih rezultatov izobraževanja (DiBiase s sodelavci 2006, 34).

posameznih vsebin, veščin oziroma pridobljenih kompetenc. Med njimi po celovitosti in povezovalni vlogi izstopajo:

- *NCGIA Core Curriculum* (2000), ki je doživel svojo prvo spletno »izdajo« (če lahko tako zapišemo, saj je bil vedno »v delu«) okoli leta 1990; skoraj desetletje je bil zelo odmeven dokument, ki je vplival tudi na številne študijske programe geoinformatike v Evropi;
- *The National Geography Standards* (NCGE, 1994), ki so bili vzpostavljeni, da bi utrdili položaj geografije med temeljnimi znanji, »potrebnimi državljanu v 21. stoletju«; da gre za geografijo v širšem smislu, ki zlasti na pred-univerzitetnem izobraževanju vključuje tudi sorodne »prostorske stroke«, kažeta tudi tista izmed 18 standardov, ki se najbolj neposredno nanašata tudi na geoinformacijske vsebine:
  - STANDARD 1: kako uporabljamo karte in druge geografske prikaze, orodja in tehnologije za pridobivanje, procesiranje in sporočanje informacij;
  - STANDARD 3: kako analiziramo prostorsko organiziranost ljudi, krajev in okolij na Zemljinem površju
- *Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge* (DiBiase s sodelavci 2006), ki pomembno nadgradi prej omenjena dokumenta.

Vsi navedeni dokumenti so nastali in so še vedno izredno vplivni v ZDA. V Evropi bi težko našli uporabo dokumentov kot celovitih rešitev, pogosto pa so bili uporabljeni njihovi posamezni deli. V Sloveniji, tako kot v Evropi, se je geoinformacijsko izobraževanje večinoma razvijalo razdrobljeno, s šibkimi povezavami na primer med izobraževanjem in geoinformacijskim trgom, celo med izobraževalnimi ustanovami znotraj posameznih univerz. Zaradi omenjene razdrobljenosti je potreba po dokumentu, ki bi pomagal doseči višjo stopnjo primerljivosti in povezljivosti na področju geoinformacijskega izobraževanja v Evropi, še večja.

V prispevku so predstavljena izhodišča, začetki in perspektive razprav o možnostih priprave takšnega preglednega, dovolj splošnega ter prilagodljivega dokumenta, ki bi čim bolj upošteval evropsko raznovrstnost na področju geoinformacijskega izobraževanja in zaposlovanja. V tem kontekstu so izpostavljene posebnosti geoinformacijskega izobraževanja v Sloveniji ter slovenski prispevek k pripravi dokumenta.

2 Začetki evropske razprave o »temeljnih znanjih« v geoinformacijskem izobraževanju

Prvi evropski bienalni seminar s področja geoinformacijskega izobraževanja EUGISES (http://www.eugises.eu/) je bil izveden leta 1998. Kljub temu, da se je doslej na teh seminarjih pojavilo več prispevkov, ki so obravnavali geoinformacijski kurikul, pridobljene diplomantove kompetence ali celo formalno urejanje »geoinformatike« kot poklica, celovitejšega predloga splošnejše vsebinske opredelitve geoinformacijskega izobraževanja za evropsko okolje še nimamo. To vrzel poskuša vsaj delno (za področje geografije in sorodnih strok) zapolniti mreža Herodot (Mreža za geografijo in sorodne predmetne skupine v visokošolskem izobraževanju), ki je sprožila razpravo o temeljnih vsebinah in kompetencah geoinformacijskega izobraževanja v evropskem izobraževalnem prostoru (What GIS … 2008; Herodot 2008). Dokument naj ne bi bil obvezujoč, temveč predvsem vodilo pri oblikovanju učnih programov, podlaga za razpravo znotraj posameznih strok in med strokami, ki vključujejo geoinformacijske vsebine, pomoč pri merjenju dosežene ravni geoinformacijske izobrazbe ter posvetovalni dokument in pripomoček za lobiranje v politiki in med financerji. Delovna različica dokumenta je pripravljena za tri ravni izobraževanja: za srednješolsko, dodiplomsko in magistrsko raven. Izdelana je bila s pomočjo postopka, ki spominja na možganski vihar. V pripravo so bili vključeni eksperti z geoinformacijskega izobraževalnega področja iz 11 evropskih držav in ZDA.

Prva faza zbiranja predlogov je bila izvedena na daljavo (v e-učilnici) v daljšem (nekajtedenskem) časovnem intervalu. Kot primer si oglejmo finski predlog geoinformacijskih kompetenc ob koncu srednje šole, ki sodi med za evropske razmere skrajne vizije zgodnjega uveljavljanja geoinformacijskih vsebin (preglednica 1).

Preglednica 1: Tri ravni predmetno specifičnih geoinformacijskih kompetenc za finske srednje šole (Johansson 2008, na podlagi Toivonen, Kalliola 2005).

1. temeljna raven:
• učenec kritično interpretira kartografske prikaze v različnih medijih
• razume temeljne geoinformacijske pojme ter glavne komponente GIS-a
• razume primere praktičnih geoinformacijskih aplikacij v dnevnem življenjskem okolju
• predstavi primere različnih področij uporabe GIS-ov v družbi
• uporablja nekatere prosto dostopne geoinformacijske storitve in razume načela njihovega delovanja
• interpretira različne vizualizacije digitalnih geografskih informacij ter sintetizira pridobljene informacije
• razume temeljno strukturo geografskih informacij (lokacijo in atribute)
• razume možnost prostorskega prekrivanja različnih vrst informacij
• razume možnosti različnih analiz in vizualizacij atributnih podatkov
2. napredna temeljna raven:
• učenec razume temeljna načela in omejitve kartiranja in zajema podatkov
• razume temelje pojme v zvezi z metapodatki ter različne vire geografskih informacij
• uporablja katero od mobilnih navigacijskih storitev ter razume temelje njihovega delovanja
• razume različne načine geoinformacijske vizualizacije
• pozna različne geoinformacijske analize in področja njihove uporabe
• razume razlike med prostorskimi podatki v različnih merilih ter učinek generalizacije na kartografske vizualizacije
3. napredna raven:
• učenec izvede vizualizacijo različnih geografskih informacij
• izbere ustrezno izmed dostopnih zbirk prostorskih podatkov glede na namen uporabe in njihove značilnosti, na primer merilo, atribute, koordinatni sistem, metodo vizualizacije
• uporabi preprosta geoinformacijska poizvedovanja in analize
• pozna zgodovino in sodobne trende v geoinformatiki
• prepozna (in predlaga nova) področja uporabe geoinformatike v vsakodnevnem življenju
• vzdržuje in razvija osebno geoinformacijsko usposobljenost

Predlagane kompetence, zlasti napredne, se približujejo nespecialističnim geoinformacijskim kompetencam, doseženim v marsikaterem današnjem univerzitetnem študijskem programu v Evropi. Pri oblikovanju predloga je bil pogled avtorjev usmerjen v prihodnost, verjetno pa so jih spodbudili tudi nekateri primeri uspešnih (ameriških) srednješolskih učbenikov z geoinformacijskimi vsebinami (na primer Malone, Palmer, Voigt 2002, 2003; Zanelli English, Feaster 2003). Finski primer v Evropi ni osamljen – podobno ambiciozen je na primer švicarski srednješolski učbenik geoinformatike (Treier, Treuthardt Bieri, Wüthrich 2006), ki z nekaterimi konkretnimi vsebinami v veliki meri celo presega okvire iz finskega predloga. Problem obeh navedenih evropskih poskusov je, da sta nastala »prekmalu«, saj ju ni mogoče izvesti v obstoječem učnem programu. V obeh primerih je predmet, ki omogoča vpeljavo vsaj dela želenih geoinformacijskih vsebin v srednješolski pouk, geografija. Doseganje navedenih geoinformacijskih kompetenc bi seveda drastično poseglo v spremembo vsebinske in časovne zasnove tega predmeta (kar se bo sčasoma verjetno vsaj delno zgodilo), ali pa zahtevalo precejšnje pove-

čanje časovnega obsega tega predmeta (kar na splošno ni prav verjetno, morda le v državah, kjer je ur geografije v srednjih šolah malo).

Druga faza priprave »Herodotovega dokumenta« je potekala v obliki tridnevne intenzivne razprave. Predlagani temeljni geoinformacijski učni rezultati (*learning outcomes*) ob zaključku srednje šole (preglednica 2) dejansko predstavljajo osnutek dokumenta za srednješolsko raven izobraževanja. Predloga za prvo in drugo stopnjo univerzitetnega študija geografije (preglednica 3) pa sta le delno uporabna za druge univerzitetne študijske programe, ki vključujejo tudi geoinformacijske vsebine. Podrobnejše različice dokumenta so dostopne na spletu (What GIS … 2008).

Preglednica 2: Pričakovani temeljni geoinformacijski učni rezultati ob zaključku srednje šole (prirejeno po What GIS in Geography … 2008).

Ob zaključku srednje šole bi morali biti dijaki usposobljeni za:
• kritično razlago kartografskih prikazov v različnih medijih,
– primer: analiza karte naravne nesreče na TV ali karte rezultatov volitev v časopisu,
– primer: zavedanje različnega izvora in zanesljivosti podatkov,
• zavedanje geografskih informacij in njihove predstavitve s pomočjo GIS-a,
– GPS, GIS, spletni geoinformacijski vmesniki (storitve),
• vizualno sporočanje geografskih informacij,
– primer: izdelava preproste karte,
• opis primerov geoinformacijskih aplikacij v vsakodnevnem življenju in v družbi,
– primeri: uporaba GPS-a, socialne mreže v prostoru, GoogleEarth,
– primeri: kdo so ljudje, ki poklicno uporabljajo GIS-e? (na primer reševalne službe, policija, precizno kmetijstvo, okoljsko načrtovanje, gradbena in vojaška tehnika, promet, akademsko raziskovanje),
• uporabo prosto dostopnih geoinformacijskih vmesnikov (storitev) na temeljni ravni,
– primeri: poišči svojo hišo na spletnem prikazovalniku zemeljskega površja; poišči in uporabi podatke z državnega statističnega spletnega portala; prikaži pot od doma do šole ali pripravi karto izleta,
• postavljanje geografskih vprašanj in odgovarjanje nanja s pomočjo geoinformacijskih vmesnikov (storitev),
– primera: katere spremembe so se zgodile …? V katero smer / na katerem območju so najhujše posledice poplave?.

Očitno je, da iščemo tisto, kar je, ali naj bi bilo z geoinformacijskega vidika skupnega večini učnih oziroma študijskih programov na srednješolski in visokošolski ravni izobraževanja. Seveda bodo tudi v bodoče med državami in izobraževalnimi ustanovami obstajale razlike, nekatere tudi kot rezultat tekmovanja za pridobitev ustrezne količine kakovostnih učencev oziroma študentov. V razpravah na »srečanju ekspertov« v Madridu (What GIS … 2008) in na Herodotovi spletni »razpravljalnici« (Herodot 2008) je bilo podanih še nekaj predlogov ali pripomb, ki naj bi jih upoštevali v nadaljnjem oblikovanju dokumenta:

- v ospredje je potrebno postaviti zmožnost učenca ali študenta za spoprijemanje z (geografskimi) vprašanji in podatki iz realnega življenja, zmožnost prostorskega mišljenja, analize in sinteze;
- specifična znanja in veščine o nekem konkretnem geoinformacijskem orodju (v skrajnem primeru to nekateri poimenujejo *buttonology*) imajo pri vrednotenju geoinformacijskih študijskih vsebin vse manjšo težo; programska (geoinformacijska) orodja se spreminjajo in se jih je mogoče (ob že obstoječi izkušnji z nekim GIS-om) razmeroma učinkovito naučiti na delovnem mestu; to pa ne velja za zmožnost geografskega (prostorskega), kritičnega razmišljanja, prepoznavanja, ustreznega formuliranja in reševanja (prostorskih) problemov; bogate izkušnje kažejo, da je učence nujno učiti tudi reševanja geoinformacijskih nalog s pomočjo »papirja in svinčnika« ter kritičnega predstavljanja in utemeljevanja postopka in rezultatov, ne zgolj »klikanja po vnaprej znanem vrstnem redu ukazov«;

Preglednica 3: Pričakovani temeljni geoinformacijski učni rezultati za diplomante a) prvostopenjskih geografskih študijskih programov, ki vključujejo geoinformacijske vsebine, b) drugostopenjskih geografskih študijskih programov, ki vključujejo geoinformacijske vsebine ter c) drugostopenjskih geografskih študijskih programov z usmeritvijo (specializacijo) s področja geoinformacijskih vsebin (prirejeno po What GIS in Geography … 2008).

a) Diplomanti prvostopenjskih (dodiplomskih, *bachelors*) geografskih študijskih programov, ki vključujejo geoinformacijske vsebine, bi morali biti usposobljeni za uporabo GIS-a za:
   - zajem, organizacijo in predstavljanje prostorskih podatkov na temeljni ravni,
   - prepoznavanje in ugotavljanje geografskih vzorcev, procesov, sprememb in povezav,
   - uporabo geografskega znanja in razumevanja za ukvarjanje s problemi iz resničnega življenja na temeljni ravni.

b) Diplomanti drugostopenjskih (diplomskih, magistrskih; *graduate*, *masters*) geografskih študijskih programov, ki vključujejo geoinformacijske vsebine, bi morali biti usposobljeni za uporabo GIS-a:
   - na njihovem področju specializacije, kjer je to ustrezno,
   - kot orodja za pridobivanje poglobljenega znanja in razumevanja njihovega področja specializacije,
   - za sodelovanje v večdisciplinarnih skupinah,
   - za učinkovito sporočanje geografskih informacij.

c) Diplomanti drugostopenjskih (diplomskih, magistrskih; *graduate*, *masters*) geografskih študijskih programov z usmeritvijo (specializacijo) s področja geoinformacijskih vsebin, bi morali biti usposobljeni, da v ustreznem kontekstu pokažejo/dokažejo zmožnost:
   - napredno poznavanje pojmov geografske informacijske znanosti,
   - problemsko usmerjeno znanje in veščine s področja geografske informacijske znanosti,
   - ravnanja z geografskimi informacijami na napredni ravni,
   - izvajanja kompleksnih prostorskih analiz in modeliranja,
   - vizualizacije in sporočanja prostorskih informacij na napredni ravni,
   - vodenja in usklajevanja geoinformacijskih projektov.

- med možnimi napačnimi pristopi k izbiri geoinformacijskih vsebin za srednje šole je lahko načelo učenja vsega tistega, česar so se učenci tehnično zmožni naučiti; marsikaterih veščin je srednješolce celo laže naučiti, kot študente (na primer geografije); problem pa lahko nastopi, ko morajo pridobljene veščine smiselno uporabiti na primer pri odgovarjanju na geografska vprašanja;
- uvajanje geoinformacijskih vsebin v srednješolske učne programe poteka veliko težje in počasneje, kot so mnogi pričakovali; vzroki so različni tako med državami, kot med šolami znotraj posameznih držav; med njimi so na primer preobremenjenost srednješolskih učiteljev, usmerjenost v učni uspeh (učenje za reševanje testov), dostopnost ustrezno opremljenih učilnic, majhna količina ur ali krčenje časa namenjenega predmetom (v glavnem geografiji) z geoinformacijskimi vsebinami; nekateri ugotavljajo, da ne moremo pričakovati niti najskromnejše uporabe GIS-ov v srednjih šolah brez njihove eksplicitne vključitve v učne programe;
- pri opredeljevanju geoinformatike, zlasti v kontekstu geografije in sorodnih strok, je pretirano izpostavljanje informacijske tehnologije lahko zavajajoče in celo škodljivo za široko, kompleksno pojmovanje geografske informacijske znanosti; postavljeno je bilo vprašanje, ali bi v srednji šoli sploh omenjali geografske informacijske sisteme, ali le geografske podatke/informacije in (preprosta) geoinformacijska orodja;
- geografija v geoinformacijskem izobraževanju igra pomembno povezovalno vlogo; v srednji šoli je v vlogi nosilke geoinformacijskih vsebin ter pobudnice uporabe prostorskega načina razmišljanja in nenazadnje geoinformacijskih orodij in (spletnih) storitev tudi pri drugih predmetih (na primer pri biologiji, zgodovini, družboslovnih predmetih, znani so celo primeri uporabe GPS-a pri telovadbi); v nekaterih državah ima geografija podobno vlogo tudi na univerzitetni stopnji izobraževanja.

3 »Temeljna znanja« v slovenskem geoinformacijskem izobraževanju

V slovenskem javnem šolstvu doslej nismo imeli študija, ki bi ga lahko uvrstili v prvo zgoraj obravnavano kategorijo, z osrednjo vlogo geoinformatike v študijskem programu. Z bolonjsko prenovo študijskih programov se bo takšnemu študiju približal prvostopenjski in drugostopenjski univerzitetni študij »Geodezija in geoinformatika« na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani (podrobneje v prispevku v tej knjigi: Petrovič, Drobne, Šumrada). Zaradi problematičnosti ločevanja predmetov z geoinformacijskimi vsebinami od ostalih predmetov (saj so geografske informacije z različnih vidikov obravnavane pri večini predmetov) je v omenjenem prispevku morda izračunani delež tovrstnih predmetov v celotnem študijskem programu precej podcenjen. Precejšnje povečanje geoinformacijskih vsebin (glede na dosedanji študijski program) prinašata tudi prvostopenjski in drugostopenjski bolonjski univerzitetni študijski program »Geografija« na Filozofski fakulteti Univerze v Ljubljani. Tudi v tem primeru je težko opredeliti, kateri predmeti niso »geoinformacijski«. Je pa ta študij vendarle laže uvrstiti v drugo izmed zgoraj obravnavanih kategorij, če kot »geoinformacijske predmete v ožjem smislu« štejemo le tiste z izrazito informacijskimi ali tehnološkimi vsebinami. V vseh drugih študijskih programih v Sloveniji, ki vključujejo geoinformacijske vsebine, slednje predstavljajo le majhen del študijskih predmetov in pridobljenih kompetenc.

Ocenjujemo, da na dosedanje razmeroma skromno vključevanje geoinformatike v pouk geografije v osnovnih in srednjih šolah v Sloveniji deloma vpliva dejstvo, da doslej učitelji geografije v svojem dodiplomskem študijskem programu niso imeli geoinformacijskih vsebin. Bolonjski študijski program za učitelje geografije (na Oddelku za geografijo FF UL) bo to pomanjkljivost omilil šele v srednjeročni prihodnosti. Ostajata pa vsaj še dve pomembni oviri za povečanje geoinformacijskih vsebin v preduniverzitetnem izobraževanju: težave z izvajanjem dela pouka geografije v računalniških učilnicah ter odsotnost eksplicitne opredelitve zahtevanih geoinformacijskih znanj v učnih načrtih oziroma katalogih znanj. Prav k odstranitvi slednje ovire lahko pomembno pripomore nastajajoči »Herodotov dokument«.

Bolonjski študijski programi naj bi – vsaj načeloma – pripomogli k večji izbirnosti geoinformacijskih vsebin. Potencialno bi to lahko pomenilo, da bi tovrstna znanja in veščine pridobivali študenti, ki v svojih temeljnih študijskih programih nimajo predvidenih tovrstnih vsebin. Še bolj verjetna pa bi bila možnost, da bi študenti »prostorskih« ved (na primer geografije) izbirali dodatne geoinformacijske predmete v okviru drugih študijskih programov (na primer daljinsko zaznavanje na FGG). Bojimo se, da bodo te možnosti ostajale predvsem na papirju, ali bodo omejene na zelo majhno število študentov, če država oziroma univerza ne bosta poskrbeli za ustrezno finančno, kadrovsko in prostorsko omogočanje predmetne izbirnosti.

Z namenom, da se seznanimo s pogledi na »temeljna« oziroma »pričakovana« geoinformacijska znanja na različnih ravneh izobraževanja v Sloveniji, bomo ob koncu poletja 2008 izvedli spletno anketo. Naslovili jo bomo na naslednje ciljne skupine:

- izvajalce javnega geoinformacijskega izobraževanja, vključno z izbranimi učitelji in profesorji geografije v osnovnih in srednjih šolah;
- izvajalce javnega izobraževanja, ki od svojih učencev/študentov pričakujejo neko raven geoinformacijskega predznanja oziroma veščin;
- izbrane zaposlovalce, ki od diplomantov pričakujejo neko raven geoinformacijskega znanja oziroma veščin; v tej skupini se nameravamo obrniti na zaposlovalce z različnih področij, na primer raziskovanja, državne ali lokalne uprave in gospodarstva.

V odgovorih na ankete pričakujemo tudi nerealna pričakovanja, na primer z vidikov razpoložljivega časa v študijskih programih, potrebnega predznanja za konkretno pričakovano znanje ali veščino, razpoložljivosti ustrezno usposobljenega pedagoškega in tehničnega kadra, razpoložljivosti ustrezne opreme. Zato bomo od anketirancev poskusili izvedeti tudi predloge o možnih načinih reševanja problemov zadovoljevanja njihovih pričakovanj.

4 Viri in literatura

DiBiase, D., DeMers, M., Johnson, A., Kemp, K., Taylor Luck, A., Plewe, B., Wentz, E. (ur.) 2006: Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge. Washington.

Frank, A. U. 2000: From GI Science to GI Engineering. EUGISES 2000, Second European GIS Education Seminar, 7–10 September, Budapest, medmrežje: http://www.eugises.eu/proceedings2000/papers_pdf/frank.pdf (10. 6. 2008).

Herodot (Network for higher education in geography and related subject areas) 2008: GIS in Geography. Spletna razprava na portalu Google Groups, medmrežje: http://groups.google.com/group/herodot-net (10. 6. 2008).

Johansson, T. 2008: Formal and informal subject specific geoinformatic competences at the upper secondary school level in Finland. Discussion paper. HERODOT – GIS Expert Meeting, 29. 5.–1. 6. 2008, Madrid, medmrežje: http://www.herodot.net/community/mod/forum/discuss.php?d=63 (10. 6. 2008).

Krevs, M. 2006: Izzivi povezovanja med ustanovami na področju geoinformacijskega izobraževanja. Spletna anketa (povezava na vprašalnik), medmrežje: http://www.surveymonkey.com/s.aspx?sm=OdVlzteVnhiS5FbziUr0Lw_3d_3d (10. 6. 2008); povzetek delavnice – medmrežje: http://slogis2.zrc-sazu.si/Povzetki%20GIS%20v%20Slo%202005-06.pdf (10. 6. 2008); predstavitev – medmrežje: http://slogis2.zrc-sazu.si/images/Krevs_GISvSlo2006.pdf (10. 6. 2008).

Krevs, M. 2007: Challenges and pitfalls of project based university study of geoinformatics. Changing geographies: innovative curricula: the conference proceedings. Oxford.

Krevs, M., Mandl, P., Mesaroš, M. 2005–2006: Geoinformatics and Cartography in SE Europe – Interregional Cooperation, Human Resources. Spletna anketa (povezava na vprašalnik), medmrežje: http://www.surveymonkey.com/s.asp?u=378851855660 (15. 4. 2006).

Malone, L., Palmer, A. M., Voigt, C. L. 2002: Mapping Our World. GIS Lessons for Educators. ESRI Press.

Malone, L., Palmer, A. M., Voigt, C. L. 2003: Community Geography, GIS in Action. Teacher's Guide. ESRI Press.

Marble, D. F. 1998: Rebuilding the top of the pyramid. ArcNews 20-1.

NCGE (The National Council for Geographic Education) 1994: Geography for Life – The Eighteen National Geography Standards, Tutorial, medmrežje: http://www.ncge.org/publications/tutorial/ (10. 6. 2008).

The NCGIA Core Curriculum in GIScience, 2000. National Center for Geographic Information and Analysis, medmrežje: http://www.ncgia.ucsb.edu/education/curricula/giscc/ (10. 6. 2008).

Toivonen, T., Kalliola, R. (ur.) 2005: Tukea koulujen paikkatieto-opetukselle. Alustava esitys toimenpiteistä, jotka tukevat uusien opetussuunnitelmien toteuttamista, Proposal, Paikkatietoasiain neuvottelukunnan tutkimus- ja koulutusjaos. Turku.

Treier, R., Treuthardt Bieri, C., Wüthrich, M. 2006: Geographic Information Systems (GIS). GIS Basics and Exercises for Use in High School. Bern.

What GIS in Geography and related subjects?. GIS expert meeting, Madrid, 29. 5.–1. 6. 2008. Herodot (Network for Geography in Higher Education), medmrežje: http://www.herodot.net/conferences/GIS-madrid/madrid-tp4-2008.html (10. 6. 2008).

Zanelli English, K., Feaster, L. S. 2003: Community Geography. GIS in Action. ESRI Press.

ISBN 978-961-254-082-1

9 789612 540821

39,00 €