

GEOGRAFSKI INFORMACIJSKISISTEMI V SLOVENIJI 1997-1998

MARKO KREVS
DRAGO PERKO
TOMAŽ PODOBNIKAR
ZORAN STANČIČ



Slika na naslovnici prikazuje del površja Slovenije ter severnega Jadrana z Reškim zalivom, Istro in Tržaškim zalivom, ki ga je 4. marca 1990 ob 9. uri 59 minut in 15 sekund po srednjeevropskem času z višine 213 km na 45,5° severne zemljepisne širine in 13,8° vzhodne zemljepisne dolžine iz vesoljskega plovila Space Shuttle posnela NASA.

Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1997-1998

Zbornik referatov simpozija
Ljubljana, 29. september 1998

Uredniki:
Marko Krevs
Drago Perko
Tomaž Podobnikar
Zoran Stančič



Ljubljana 1998

Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1997-1998

Zbornik referatov simpozija

Ljubljana, 29. september 1998

Uredniki:

Marko Krevs, Drago Perko, Tomaž Podobnikar, Zoran Stančič

Uredništvo:

dr. Andrej Černe, mag. David Hladnik, Jurij Hudnik, mag. Marko Krevs, dr. Drago Perko, mag. Tomaž Podobnikar, mag. Roman Rener, dr. Zoran Stančič, dr. Radoš Šumrada

Izdal in založil:

Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti
zanj Oto Luthar

Soizdajatelja:

Zveza geografskih društev Slovenije in Zveza geodetov Slovenije

Prelom:

Krištof Oštir

Naslovnica:

SYNCOMP

Tisk:

Tiskarna Kurir, d.d.

Digitalna različica (pdf) je pod pogoji licence CC BY-NC-ND 4.0 prosto dostopna:

<https://doi.org/10.3986/9616182579>

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

659.2:681.3:91(082)

GEOGRAFSKI informacijski sistemi v Sloveniji : 1997-1998 : zbornik referatov simpozija, Ljubljana, 29. september 1998 / uredniki Marko Krevs ... [et al.]. - Ljubljana : Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, 1998

ISBN 961-6182-57-9

1. Krevs Marko

77839104

Tisk publikacije je finančno podprla Geodetska uprava Republike Slovenije Ministrstva za okolje in prostor Republike Slovenije.

Po mnenju Ministrstva za kulturo sodi publikacija med proizvode, za katere se plačuje 5 % davek od prometa proizvodov.

VSEBINA

| | |
|--|-----|
| Uvodnik..... | 5 |
| <i>Marjan Podobnikar</i> Topografsko-kartografski sistem Slovenije | 7 |
| <i>Bojan Stanonik</i> Model slovenske geoinformacijske infrastrukture..... | 13 |
| <i>Aleš Marinšek</i> Slovenska geoinformacijska infrastruktura, metapodatki in evidentiranje prostorskih podatkov in evidenc | 21 |
| <i>Dušan Petrovič in Mojca Kosmatin Fras</i> Prototip digitalno izdelane temeljne državne karte v merilu 1 : 5000..... | 37 |
| <i>Irena Benedik</i> Projekt vzpostavitve, polnjenja in vzdrževanja digitalne topografske baze velikih meril (na primeru mestne občine Ljubljana)..... | 47 |
| <i>Krešimir Keresteš</i> Obdelava kartografskih vektorskih podatkovnih modelov s CAD/CAC programi..... | 55 |
| <i>Sandi Berk</i> Pravokotizacija vektorsko zajetih stavb in njihova a posteriori ocena natančnosti..... | 63 |
| <i>Maruška Šubic Kovač</i> Geoinformacijska podpora vrednotenju nepremičnin v Sloveniji | 81 |
| <i>Matjaž Ivačič</i> Kakovost digitalnega modela reliefa na primeru enostavne hidrološke analize | 91 |
| <i>Tomaž Podobnikar</i> Monte Carlo simulacije napak digitalnega modela višin | 99 |
| <i>Samo Drobne</i> Katere formule so temelj prostorskim analizam v GIS-u? | 111 |
| <i>Drago Kladnik in Matjaž Skobir</i> Geografski atlas Slovenije | 125 |
| <i>Matej Gabrovec, Branko Pavlin in Matjaž Skobir</i> Razporeditev prebivalstva in možnosti izkoriščanja sončne energije v Sloveniji..... | 135 |
| <i>Marjeta Hočevnar, Barbara Lampič, Matjaž Skobir, Aleš A. Smrekar in Metka Špes</i> Dostopnost prebivalstva ljubljane do postajališč mestnega potniškega prometa in zelenih površin (primer uporabe GIS-a v urbani geografiji) | 141 |
| <i>Marko Krevs</i> Geografski informacijski sistemi v raziskovanju življenjske ravni..... | 151 |
| <i>Barbara Lampič in Aleš A. Smrekar</i> Vzpostavitev GIS-a naravne dediščine na primeru Radenskega polja | 159 |

| | |
|--|-----|
| <i>Franc J. Zakrajšek in Ksenija Kovačec Naglič</i> GIS model kulturne dediščine v Republiki Sloveniji | 167 |
| <i>Zoran Stančič in Tatjana Veljanovski</i> Arheološki napovedovalni modeli in GIS | 175 |
| <i>Daniel Jarc</i> Uporabnost GIS-analize v urbanizmu in prostorskem planiranju ter usklajevanje kartografskih baz podatkov za prekmajno sodelovanje..... | 187 |
| <i>Nenad Čuš Babič, Danijel Rebolj in Lucija Hanžič</i> GIS v procesu načrtovanja cest | 201 |
| <i>Danijel Rebolj in Peter Sturm</i> GIS komponente kot podpora dinamičnemu določanju in vizualizaciji prometnih emisij | 209 |
| <i>Borut Vrščaj in Franc Lobnik</i> Digitalni podatki tal Slovenije..... | 219 |
| <i>Danijela Šabič, Enisa Lojović in Ana Tretjak</i> Statistični GIS pokrovnosti in rabe tal Slovenije z oceno spremembe pokrovnosti tal med letoma 1993 in 1997 | 233 |
| <i>Krištof Oštir</i> Izdelava modela višin z radarsko interferometrijo | 243 |
| <i>Darja Grosman</i> Arheološka aerofotografija..... | 253 |
| <i>Aleš Štor</i> Internet GIS - GIS tehnologije prihodnosti..... | 265 |

UVODNIK

Pred vami je zbornik četrtega simpozija o geografskih informacijskih sistemih, ki se je v organizaciji Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti ter soorganizaciji Zveze geodetov Slovenije in Zveze geografskih društev Slovenije odvijal 29. septembra 1998 v Ljubljani. Prvi simpozij je bil leta 1992, drugi leta 1994 in tretji leta 1996.

V zborniku so predstavljeni znanstveni, raziskovalni, strokovni, pedagoški in tehnični dosežki s področja geografskih informacijskih sistemov. Napisali so jih predstavniki zelo različnih strok in ustanov. Število in raznolikost prispevkov podajajo pregled nad razmahom uporabe in raziskav s tega področja v Sloveniji.

Očitno je, da geografski informacijski sistemi pri nas niso več nikakršna novost. Vsakdo, ki se danes na kakršenkoli način ukvarja s prostorom, tovrstno tehnologijo skoraj gotovo uporablja, ali pa o njeni uporabi vsaj resno razmišlja. Prav zato lahko trdimo, da je mladostno obdobje geografskih informacijskih sistemov v Sloveniji že mimo. Tudi objavljeni prispevki se ne ukvarjajo več s poskusi opredeljevanja geografskih informacijskih sistemov ali prikazom njihovih zmožnosti, ampak se osredotočajo na zahtevne aplikacije in uporabniške vidike le-teh. Geografski informacijski sistemi zatorej prehajajo v zrela leta, hkrati pa upamo, da konec mladostnega obdobja istočasno ne pomeni tudi zmanjšanje inovativnosti, entuzijazma in kritične distance.

mag. Marko Krevs
dr. Drago Perko
mag. Tomaž Podobnikar
dr. Zoran Stančič

TOPOGRAFSKO-KARTOGRAFSKI SISTEM SLOVENIJE

Marjan Podobnikar
Geodetska uprava Republike Slovenije
Zemljemerska ulica 12, Ljubljana
marjan.podobnikar@gu.sigov.mail.si

Izvleček

UDK 528.9(497):912

Geodetska služba skrbi za topografsko-kartografski sistem Slovenije. Slovenija je s topografskim in kartografskim gradivom dobro oskrbljena. Problem predstavljajo neažurne državne karte in načrti.

Geodetska uprava Republike Slovenije je začela z intenzivnimi razvojnimi aktivnostmi vzpostavitve sodobnega državnega topografsko-kartografskega sistema, ki temelji na distribuiranih bazah podatkov. Vzpostavitev celotnega sistema poteka s postopno predelavo obstoječih kart in načrtov v topografske in kartografske baze podatkov.

Predstavljeni so obstoječe topografske in kartografske baze podatkov, register prostorskih enot, register zemljepisnih imen, državne topografske in pregledne karte, digitalne ortofoto karte in temelja državna baza.

Ključne besede: topografsko-kartografski sistem, topografske baze, topografske karte

Abstract

UDC 528.9(497):912

Topographic-cartographic system of Slovenia

The Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia is in charge of topographic-cartographic system of Slovenia. In spite the fact that Slovenia has a lot of topographic and cartographic materials, the content of national maps was not regularly maintained in the conventional maintenance cycle.

The Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia has started with intensive developmental activities to re-establish modern national topographic - cartographic system, which will be based upon the distributed data bases. The reestablishment of the whole system goes on with progressively transforming the existing maps into topographic and cartographic databases.

The paper presents the existing topographic and cartographic databases, register of spatial units, register of geographical names, national topographical and review maps, digital orthophoto and the national basis database.

Key words: topographic-cartographic system, topographic databases, topographic maps

1. Uvod

Živahen razcvet slovenske kartografije sega v pozna šestdeseta leta. Do danes je dosegla zavidljivo raven po količini, predvsem pa po kakovosti svojih izdelkov. Začelo se je pred tridesetimi leti, z veliko intenzivnostjo pa se nadaljuje po letu 1991. Nove razmere omogočajo razvoj samostojne kartografije, v moderno zasnovanem topografsko-kartografskem sistemu, ki ga gradi Geodetska uprava Republike Slovenije. Geodetska stroka in služba sta vložili ogromno napora, da sta nadomestili zamujeno. V zadnjih petih letih smo premostili desetletja. Rezultati kažejo, da je bilo opravljeno ogromno delo.

Sistem vodenja sloni na modelu distribuiranih podatkov, ki so s sodobnimi

računalniškimi in komunikacijskimi tehnologijami povezani v enovit sistem. Povezava v sodoben informacijski sistem je mogoča le s standardizacijo na vseh ravneh, od postopkov zbiranja in zajemanja podatkov ter vzpostavitve in vzdrževanja baz podatkov do načina dokumentiranja in posredovanja. Standardizacija je tudi pogoj za kakovost podatkov.

Kakovost dela in ponudbe Geodetske uprave Republike Slovenije se odraža v bilancah izdanih podatkov in v relativno visoki finančni udeležbi uporabnikov ob skrbno planiranih in vodenih projektih. Kartografsko gradivo različnih meril in državne topografsko-kartografske baze, ki jih vodi Geodetska uprava Republike Slovenije, so ažurno vodene in na voljo uporabnikom v Geodetskem dokumentacijskem centru.

2. Topografsko-kartografski sistem Slovenije

Pomemben del nalog geodetske službe se udejanja v državnem topografsko-kartografskem sistemu. Če posebej ne omenjamo organizacijskih, finančnih, kadrovskih, političnih in drugih delov sistema ter se omejimo na vsebinski del, potem sta njegovo jedro sistem podatkov in sistem kart.

Državni topografsko-kartografski sistem je uradni sistem državnih topografskih in kartografskih podatkov in gradiv. Zajema digitalne baze in topografske karte meril oziroma stopenj natančnosti in podrobnosti od 1 : 5000 in manjše.

Temeljne podatke topografsko-kartografskega sistema Slovenije predstavljajo fotogrametrična gradiva, kot so aero in satelitski posnetki ter ortofoto karte, prostorske enote, zemljepisna imena, relief, topografski podatki, topografski načrti in karte ter pregledne karte.

Nosilec sistema je Geodetska uprava Republike Slovenije, ki ga upravlja, vodi, nadzoruje in zagotavlja permanentno financiranje.

3. Podatki, baze podatkov in izdelki geodetske službe

Vse obsežno gradivo državnega topografsko-kartografskega sistema so geodetski temeljni podatki in s tem geodetske podlage velikemu delu gospodarstva.

Fotogrametrična gradiva za zajem podatkov so aeroposnetki cikličnega aerosnemanja in posebnih snemanj ter digitalne ortofoto slike in karte z resolucijo 0,5 in 2 m (M 1 : 5000 in 1 : 25.000).

Ciklično aerosnemanje smo začeli uvajati leta 1975. Posneto je bilo vse območje države v merilu 1 : 17.500. To merilo je bilo izbrano, ker en posnetek pokriva en list temeljnega topografskega načrta 1 : 5000. Leta 1985 smo začeli izvajati triletni cikel snemanja. Leta 1996 smo izdelali študijo z izhodišči za nov projekt aerosnemanja. Snemamo tam, kjer so predvideni projekti za izdelavo DOF-a, reambulacija načrtov in kart ter gozdarski in kmetijski projekti. Novi projekt opredeljuje poleg več možnih meril tudi možnost barvnega ali črno-belega snemanja.

Klasične ortofote smo začeli izdelovati že v 80. letih. S serijsko izdelavo digitalnih ortofoto kart smo začeli leta 1994. Uporaba ortofota kot samostojnega izdelka se vedno bolj uveljavlja. Dopolnjuje se z zemljepisnimi imeni in izbranimi nadgradnjami vektorskih podatkov.

Prostorske enote vodimo in vzdržujemo v Registru prostorskih enot - RPE-ju. Osnovne prostorske enote, ki homogeno pokrivajo vse območje države, so: prostorski okoliš, statistični okoliš, naselje, občina, katastrska občina, upravna enota in država. Mednje spada tudi hišna številka. Dopolnilne prostorske enote so: krajevne skupnosti (vaške skupnosti

in mestne četrti), volilne enote, volilni okrajji, volišča, šolski okoliši, območne geodetske uprave, izpostave območnih geodetskih uprav in druge.

Zelo pomembna prostorska enota, ki jo vodimo v zemljiškem katastru, je parcela. Prvotna izmera je bila grafična, pretežno v merilu 1 : 2880. Del države, ki ni bil zajet z grafično izmero, je bil izmerjen po modernih metodah, večinoma v merilu 1 : 1000. Za potrebe planiranja so bili kartografski podatki zemljiškega katastra pomanjšani in predelani v enotno merilo in priročen format temeljnega topografskega načrta 1 : 5000, v pregledni katastrski načrt - PKN. Ti načrti so imeli neprecenljivo vlogo vse do leta 1996, ko jih je Geodetska uprava začela intenzivno nadomeščati z bolj kakovostnimi digitalnimi katastrskimi načrti - DKN-i.

Zemljepisna imena vodimo in vzdržujemo v Registru zemljepisnih imen - REZI. To so imena stalnih objektov, ki imajo časovno, zgodovinsko, etnološko ali družbeno uveljavljeno identiteto, kar pomeni, da so bolj ali manj trajna v okolju. Slovenija ima približno 200.000 zemljepisnih imen.

Osnovna uporaba zemljepisnih imen je pri orientaciji v prostoru. Ta namen se poleg uporabe v vsakdanjem življenju še posebej izraža pri uporabi zemljepisnih imen na kartah, v publikacijah, atlasih, pri uporabi digitalnih podatkov v GIS-ih in podobno. Vzpostavitev in vodenje evidence ima pokritje tudi v Organizaciji združenih narodov.

Relief oziroma površje je praviloma predstavljeno s plastnicami. Podatke o njem vodimo na različne načine. V Sloveniji imamo vzpostavljen digitalni model reliefa. To je zbirka digitalnih podatkov višin točk v 100-metrskih celicah državnega koordinatnega sistema. Podatki so bili zajeti s temeljnih topografskih načrtov 1 : 5000 oziroma 1 : 10.000. Zbirka podatkov obsega približno 2 milijona točk. Uporabna je predvsem pri pripravi prostorskih planov, pri povezavi s statističnimi podatki, pri določanju vidnosti in slišnosti radijskih, radarskih, telefonskih in televizijskih zvez, pri aplikacijah, povezanih z gozdarstvom in meteorologijo, kot pomemben sloj v geografskih informacijskih sistemih ter pri drugih projektih in raziskavah.

Hkrati z izdelavo digitalnih ortofoto slik in kart z velikostjo slikovnega elementa 0,5 m (M 1 : 5000) vzpostavljamo digitalni model višin z velikostjo celice 25 m.

Geodetska uprava Republike Slovenije pridobiva tudi digitalne podatke višin za obmejna območja sosednjih držav. V ta namen smo že odkupili del podatkov reliefa Avstrije in ga transformirali v slovenski državni koordinatni sistem. Nadaljujemo z obmejnimi območji Italije, Madžarske in Hrvaške.

Topografski podatki, ki jih vodimo v digitalni vektorski obliki, so izbrani podatki voda, grajenih objektov, prometnic in pokrovnosti. Vodimo jih v nastajajoči državni topografski zbirki podatkov. Za vso Slovenijo so z državne topografske karte 1 : 25.000 zajeti in v generalizirani kartografski bazi 1 : 25.000 - GKB 25 - vodeni nekateri podatki voda, prometnic in reliefa. Zbirka podatkov je oblikovana tako, da je mogoča navezava na upravljalne baze Direkcije Republike Slovenije za ceste, Slovenskih železnic in Uprave Republike Slovenije za varstvo narave.

Zaradi široke uporabnosti in izraženih potreb uporabnikov pripravlja Geodetska uprava Republike Slovenije projekt za vzpostavitev temeljne državne baze za področje natančnosti merila 1 : 5000. To je eden izmed pomembnejših projektov Geodetske uprave Republike Slovenije, za katerega že pripravlja strokovne osnove in pogoje za vzpostavitev. Z zajemom bomo začeli v jeseni leta 1998.

Državni topografski načrti, topografske karte in pregledne karte vodimo v okviru državnega kartografskega sistema. Vsebinsko je podoben sistemom drugih evropskih držav. Vsebuje temeljne topografske načrte v merilih 1 : 5000 oziroma 1 : 10.000, topografske karte v merilih 1 : 25.000 in 1 : 50.000, ter pregledne karte meril 1 : 250.000, 1 : 400.000, 1 : 750.000 in 1 : 1.000.000. Ker od razpadle Jugoslavije nismo dobili vseh potrebnih gradiv za izgradnjo sistema državnih kart, ga s razpoložljivimi sodobnimi sredstvi dograjujemo najprej, in predvsem tam, kjer je praznina, torej s topografskimi kartami meril 1 : 25.000, 1 : 50.000 in 1 : 100.000. Vsebina žal ni vzdrževana redno v konvencionalnem vzdrževalnem ciklu. Od 2500 temeljnih topografskih načrtov v merilu 1 : 5000 smo jih do lani uspeli vzdrževati letno samo okrog 2 %. Nekateri so stari čez 20 let, medtem ko so pregledne karte vzdrževane s stanjem leta 1994.

Vse obstoječe karte so skenirane po reprodukcijskih originalih. Za podporo izdelave kart in za plansko analitične potrebe smo leta 1996 zasnovali generalizirano kartografsko bazo - GKB 25 - iz podatkov topografskih kart v merilu 1 : 25.000.

Najpomembnejši rezultat novejšega obdobja predstavljata projekt in redakcijski načrt nove sistemske karte 1 : 25.000. Po njem bomo letos končali izdelavo vseh 200 listov topografske karte. Izdelana je tudi programska zasnova projekta državne topografske karte 1 : 50.000. Že letos pričakujemo prve izvide tiskanih kart. Leta 1997 smo po naj sodobnejših standardih v vektorski obliki izdelali tudi digitalno pregledno karto v merilu 1 : 500.000.

4. Pomembni projekti geodetske uprave republike Slovenije

Posebno pozornost posvečamo razvojnemu delu. V zadnjih nekaj letih smo začeli z vrsto zahtevnih razvojnih projektov, od katerih se jih je mnogo že prevesilo v izvedbeno fazo.

Register prostorskih enot je bil v letu 1995 vzpostavljen kot integrirana centralna baza, v kateri je bila prvič uporabljena rešitev vodenja lokacijskih podatkov v relacijski bazi. Vzporedno je bila izdelana posebna programska rešitev, ki omogoča vzdrževanje centralne baze po principu distribuiranih lokalnih baz prek hitrega komunikacijskega omrežja državnih organov. Vse spremembe, ki jih izvajajo enote Geodetske uprave Republike Slovenije, se sproti knjižijo v centralni bazi. Na ta način vzdržujemo Register prostorskih enot za skoraj polovico izpostav. Za manjše izpostave načrtujemo izvedbo programske opreme, ki bo omogočala določanje hišnih števil vključno s pisarniškim poslovanjem, izpisovanjem sklepov in potrdil iz baze prek Intraneta. Register prostorskih enot je bil prva redno vzdrževana baza v državni upravi, do katere je bil omogočen dostop prek Intraneta. Mnogi uporabniki uporabljajo kopijo delovne baze na Centru vlade za informatiko.

Z Ministrstvom za šolstvo in šport smo v fazi uvajanja šolskih okolišev kot dodatne prostorske enote v Register prostorskih enot. Homogena mreža območij šolskih okolišev bo prek povezave s hišnimi številkami, evidentiranimi v Registru prostorskih enot, omogočila natančno in enostavno izdelavo seznamov prvošolcev ter pripravo kakovostnih projekcij za nekaj let naprej.

Pomembna naloga, ki je pred nami, je usklajevanje mej prostorskih enot, kot so katastrske občine, država Slovenija in druge osnovne pa tudi dopolnilne prostorske enote. Različen nastanek in razvoj posameznih evidenc, različni načini in nameni uporabe so vzrok za različno evidentiranje podatkov.

Register zemljepisnih imen vodimo v centralni bazi. V njem so zajeta vsa zemljepisna imena s topografske karte v merilu 1 : 25.000. Za mejna območja z Madžarsko, Avstrijo, Hrvaško in Italijo je bil opravljen toponomastični pregled, ki ga nameravamo v letu 1998 razširiti še na ostala zemljepisna imena.

Register zemljepisnih imen dopolnjujemo vzporedno z izdelavo digitalnih ortofoto načrtov v merilu 1 : 5000 z zajemom iz TTN 5. Iz tega vira je zajetih 45 % zemljepisnih imen. V letu 1998 predvidevamo še zajem dodatnih 10 %. Načrtujemo tudi zajem iz pregledne karte v merilu 1 : 250.000 ter dopolnitev na območju, ki ga pokriva državna topografska karta v merilu 1 : 50.000. Kakovost registra bomo izboljševali s pomočjo toponomastičnih pregledov ter standardizacijo zemljepisnih imen.

Digitalni model reliefa z velikostjo celice 100 m smo vzpostavili že pred leti. Ker ne zadovoljuje vseh uporabnikov, postopoma začnemo projekt s ciljem vzpostavitve boljše baze točk višin, zapisanih s tremi dimenzijami.

Projektna naloga je zastavljena v smeri vključitve vseh obstoječih višinskih podatkov, ki so nam danes dosegljivi. Dolgoročno predvidevamo fazni zajem dodatnih podatkov: s hitro začetno fazo zajema in dolgo dobo uporabe.

Poleg zajemanja za območje Slovenije zajemamo v bazo tudi višine območja izven Slovenije, ki ga pokriva pregledna karta 1 : 250.000.

Generalizirana kartografska baza 1 : 25.000 (GKB 25) je bila vzpostavljena leta 1996. Vzporedno s projektom izdelave DTK 50 nastajajo smernice in operativno tehnična dokumentacija za preoblikovanje obstoječe baze v topografsko bazo srednje natančnosti. Vsebinsko bazo bomo vzdrževali pretežno s fotogrametričnim zajemom. Tako preoblikovana topografska baza srednje natančnosti bo predstavljala ustrezen vir za državne topografske karte srednjih meril. Predvidevamo dopolnitev vsebine baze z nekaterimi objekti in preoblikovanje strukture v centralno bazo, do katere bo mogoč neposreden dostop prek komunikacijskega omrežja.

Državno topografsko-karto 1 : 50.000 (DTK 50) bomo začeli izdelovati v letu 1999. Projekt izdelave DTK 50 se bo pomembno razlikoval od projekta izdelave DTK 25, kjer smo za izdelavo kart uporabili obstoječe reprodukcijske originale in klasično kartografsko tehnologijo. Reprodukcijskih originalov TK 50 v Sloveniji nimamo. Izdelava DTK 50 sloni na digitalni tehnologiji in na izkušnjah, ki smo jih dobili pri izdelavi DTK 25. Izdelava pilotnega projekta z vzorčnimi listi bo osnova za izdelavo dokončnega projekta z redakcijskim načrtom in navodilom za izdelavo DTK 50. Celotna karta bo predvidoma izdelana v petih letih. Spremembe bomo zajeli s posnetkov cikličnega aerosnemanja v merilu 1 : 28.000 in z dodatnimi terenskimi meritvami. Pri izdelavi bomo upoštevali priporočila zveze NATO. Uporabili bomo svetovni geodetski sistem, določen leta 1984 - WGS 84, ki določa elipsoid in orientacijo elipsoida ter Merkatorjevo cilindrično konformno projekcijo meridijskih con širine 6° (UTM). Izbrana matematična osnova bo omogočala enostavno izmenjavo podatkov s sosednjimi državami.

Poseben pomen projekta izdelave DTK 50 je tudi v tem, da bo predvidena metodologija prenosljiva na izdelavo in vzdrževanje celotnega sistema državnih topografskih kart meril od 1 : 25.000 do 1 : 200.000.

Državna topografska baza je bila zasnovana v prototipni rešitvi, izdelani leta 1997. Najnatančnejši prikaz ozemlja Slovenije, ki homogeno pokriva celotno državo, so topografski načrti v merilu 1 : 5000 in 1 : 10.000. Zaradi pomanjkanja državnih sredstev za

sprotno vzdrževanje načrtov, smo se na Geodetski upravi RS odločili poiskati rešitev, ki bo predstavljala sestavni del celovitega topografsko-kartografskega sistema države. Začeli smo projekt vzpostavitve sistema topografske baze večje natančnosti in izdelave prototipne rešitve digitalno izdelane topografske karte. S projektom bomo vzpostavili topografsko bazo večje natančnosti in zagotovili možnost cenejše in hitrejše obnove sistemskih kart ter omogočili povezave z drugimi bazami in registri.

Kot izhodišče za projekt smo izdelali seznam objektov, ki bodo kot minimalna vsebina vključeni v topografsko bazo. Viri za zajem so glede na posamezno skupino objektov različni. Zajem objektov v bazo poteka po kombinirani metodi zajema. Zajem bo iz stereo parov aeroposnetkov, obstoječih baz podatkov, digitalnih ortofoto načrtov in skenogramov obstoječih temeljnih topografskih načrtov.

Podatkovni model vsebuje 24 objektov, ki so razdeljeni v 8 objektnih skupin. Objekti v objektnih skupinah geodetske točke, zemljepisna imena, administrativne meje in relief so že zajeti v obstoječih bazah in registrih. Nov zajem je potreben za objektne skupine vegetacija, grajeni objekti, hidrografija in promet.

Kontrolo kakovosti bomo opravljali s primerjavo kontrolnih meritev in predhodno ocenjene natančnosti za vsak posamezen vir podatkov. V nadaljevanju projekta bodo opredeljeni tudi drugi procesi za zagotavljanje kakovosti topografske baze.

Predvidevamo, da bo vsebina topografske baze ob skupni uporabi z DOF 5 enakovredno nadomestila uporabo neažurnih temeljnih topografskih načrtov.

Literatura in viri

Projekti, plani geodetskih del in dokumentacija Geodetske uprave Republike Slovenije.

MODEL SLOVENSKE GEOINFORMACIJSKE INFRASTRUKTURE

mag. Bojan Stanonik
Ministrstvo za okolje in prostor
Geoinformacijski center RS
Dunajska 48, Ljubljana
bojan.stanonik@mop.sigov.mail.si

Izvleček

UDK 659.2:007(497.4):528

V prispevku je prikazan model slovenske geoinformacijske infrastrukture, ki se sestoji iz štirih osnovnih elementov in sicer nacionalnega koordinativnega telesa za področje geoinformacijske infrastrukture, Geoinformacijskega centra na državni in lokalni ravni ter osnovnih geolociranih podatkov. Model opredeljuje njihove medsebojne relacije ter posamezna področja dela. Notranje strukturne oziroma organizacijske naloge, pristojnosti in odgovornosti niso podrobneje prikazane, saj model predstavlja le prikaz predvidenega stanja na konceptualni ravni, ki nenazadnje lahko služi za boljše razumevanje kot tudi osnovo za morebitno podrobnejšo opredelitev.

Ključne besede: geoinformacijska infrastruktura, model, nacionalno koordinativno telo, geoinformacijski center na državni in lokalni ravni, osnovni podatki, Slovenija

Abstract

UDC 659.2:007(497.4):528

Slovene geoinformation infrastructure model

The article presents a Slovene Geoinformation Infrastructure model which consists of four components: National Coordinative Body, Geoinformation Center at the Governmental and Local level and Core Data. The model describes only their relations and field of work while detailed description of tasks, authorities and competencies are not defined. The main purpose of the article is to present the model at the conceptual level to stimulate further institutional activities.

Key words: geoinformation Infrastructure, model, national coordinative body, geoinformation center at the governmental and local level, core data, Slovenia

1. Uvod

Uspeh uveljavitve nacionalnih geoinformacijskih infrastruktur ni odvisen od njene tehnološke komponente ampak predvsem od politične in organizacijske splošnosti določene družbe. V ta namen so ključni faktorji uspeha skriti v managementu nacionalne geoinformacijske infrastrukture, ki se mora vključiti v skupno svetovno/evropsko geoinformacijsko strategijo oziroma v globalno gibanje imenovano GGII (ang. Global Geographic Information Infrastructure), ki ima osnovo v nekaterih mednarodnih dokumentih. Glede na področje dela Ministrstva za okolje in prostor lahko razumemo tudi AGENDO 21 kot dokument, ki med drugim opredeljuje pomembnost geoinformacijske infrastrukture. Dokument je nastal pod okriljem Združenih narodov kot zaključek konference o okolju v Rio de Janeiro leta 1992. Tako lahko v številnih poglavjih neposredno razberemo pomembnost ustreznih (geo)informacij na različnih področjih, ki imajo vpliv na trajnostni razvoj. Vse to lahko združimo v različne geoinformacijske sisteme (npr. GIS, LIS), politiko in management z zemljišči ter procese planiranja. Širši okvir našega delovanja pa nam opredeljuje informatika za katero pa je izmed številnih pomembnih dokumentov potrebno omeniti

Delorjev dokument iz leta 1993 imenovan White Paper on Growth, Competitiveness and Employment z naslovom The Challenges and Ways Forward into the 21st Century, dokument Sveta Evrope oziroma Bangemannovo poročilo iz leta 1994: Europe and the Global Information Society, akcijski plan Evropske Komisije iz leta 1994 imenovanega Europe's Way to the Information Society, ustanovitev odbora imenovanega GI2000 High Level Working Party ter nenazadnje tudi dokument Evropske Komisije imenovan Dokument K, ki predstavlja akcijski načrt na področju vzpostavitve informacijske družbe v srednji in vzhodni Evropi..... Torej, potrebno je slediti tujim izkušnjam, ki jih v prvi vrsti označujejo ogromni naporji za dvigovanje zavesti o pomembnosti in uporabnosti geoinformacijske infrastrukture (v najširšem pomenu besede) v vsakdanjem poslovnem in splošnem družbenem življenju. Posledica tega so številne evropske in svetovne organizacije, združenja in projekti katerih glavna naloga je ravno slednje (npr. EUROGI, JEC, GISIG, GISDATA, EGIS, ISPO, EIC, CERCO, MEGRIN, IMPACT, DRIVE, COMETT, ESPRIT, GISCO, MARS, CORINE, SOCRATES, LEONARDO, RAPHAEL, IDA, TELEMATICS, IT AND ACTS, COPERNICUS, INFO2000.....).

2. Slovenska geoinformacijska infrastruktura (SGII)

Informacijsko infrastrukturo pragmatično imenujemo vse kar je potrebno za oskrbovanje s podatki (in seveda podatke same), medtem ko logično zaključimo, da je geoinformacijska infrastruktura, vse kar je potrebno za oskrbovanje z geolociranimi podatki. Pomembno je, da se zavedamo dveh lastnosti infrastrukture in sicer: infrastrukturo razumemo kot pripomoček, ki je *stalen* ter namenjen za *splošno* uporabo brez izključujočih omejitev - torej je vzpostavljena in namenjena za uporabo vsakomur in kadarkoli v smislu pojma javnih dobrin. Javne dobrine razumemo kot pravico do uživanja oziroma koriščenja storitev po načelu, da nihče ne more biti pri tem izključen. Z javnimi dobrinami ureničujemo javni interes, ki opredeljuje cilje in institucije, s katerimi se določijo in izvedejo zahteve in želje večine.

V okviru mednarodnega pojmovanja geoinformacijske infrastrukture (glej predhodno poglavje) pa je potrebno razumeti namen vzpostavljanja nacionalne geoinformacijske infrastrukture v Sloveniji, ki ga lahko opišemo kot proces, kjer na organiziran način omogočamo, vzpodbujamo in zagotavljamo odgovorno rabo geolociranih podatkov, izboljšamo medsebojno obveščenost proizvajalcev in uporabnikov prostorske informacije ter zagotavljamo zanesljivo informacijo čim hitreje, čim ceneje ter ob vsakem času. Na ta način bomo omogočili in pomagali privatnemu in javnemu sektorju uporabljati geolocirane podatke za učinkovite in uspešne procese odločanja ter posredno vplivali na način in rezultate njihovega poslovanja. To pa lahko razumemo kot glavni cilj slovenske geoinformacijske infrastrukture. Vodenje (ne upravljanje) slovenske geoinformacijske infrastrukture naj bi, v opisanem modelu, bila primarna naloga Geoinformacijskega centra na državnem/lokalnem nivoju, ki deluje tudi kot posrednik med proizvajalci in uporabniki geolociranih podatkov na način, ki zagotavlja dodano vrednost poslovnim procesom in s tem (ne)posredno pripomore k povečanju gospodarske uspešnosti javnih/privatnih organizacij in s tem države v celoti.

Slovenska geoinformacijska strategija mora sloneti na širjenju zavedanja o pomembnosti in uporabnosti geolociranih podatkov. Geolocirane podatke je potrebno razumeti kot nacionalno bogastvo oziroma kot resurs, ki je za vsako državo strateškega pomena za razvoj ekonomije. Nadalje velja omeniti močno politično podporo, ki jo potrebuje proces

vzpostavitev geoinformacijske infrastrukture. Politična podpora mora izvirati iz samega vladnega vrha, saj je le na ta način zagotovljena prepotrebna koordinacija in sodelovanje vseh organizacijskih enot javne/državne uprave. Sodelovanje mora sloneti na skupnem interesu in v skupnem poslanstvu državne uprave ter odražati pomembnost tudi v okviru proračunskih sredstev. Ta političen okvir mora zagotoviti vzpostavitev in vzdrževanje stabilnega dogovora glede standardov, pravil, postopkov, navodil, pobud za vzpostavitev, zbiranje, vzdrževanje, izmenjavo, dostopnost in uporabo geolociranih podatkov.

3. Elementi modela slovenske geoinformacijske infrastrukture

Geolocirani podatki, ki jih bomo v okviru prispevka razumeli kot podatke, ki so neposredno ali posredno geo-locirani, so danes izredno pomembni saj predstavljajo osnovno zmožnost in sposobnost učinkovitega managementa današnje moderne in kompleksne družbe. V praktično vsaki človekovi dejavnosti uporabljajmo tovrstne podatke, saj približno 80% vseh odločitev, ki jih človek sprejema, vključuje prostorsko komponento (Frank 1997). Geolocirani podatki pa so le najbolj prepoznaven materialni izdelek geoinformacijske infrastrukture. Vzrok v (ne)uspešnosti delovanja sistema geoinformacijske infrastrukture gre iskati v načrtnem delovanju na vsaj štirih ključnih področjih: vzpostavitev nacionalnega koordinativnega telesa za področje geoinformacijske infrastrukture, vzpostavitev Geoinformacijskega centra na državni in lokalni ravni (metapodatkovni in/ali podatkovni sistem) in vzpostavitev osnovnih-neposredno geolociranih podatkov (glej nadaljevanje).

3.1. Nacionalno koordinativno telo za področje geoinformacijske infrastrukture

Državna uprava ima na področju geoinformacijske infrastrukture posebno vlogo saj je največji proizvajalec in uporabnik geolociranih podatkov oziroma celotnega sistema geoinformacijske infrastrukture. Nenazadnje zagotavlja tudi osnovne pogoje za njegovo delovanje v okviru pristojnosti in odgovornosti za vzpostavitev elementov sistema kot so zakoni in ostala podzakonska regulativa, cenovna politika, zaščitna politika, dostopnost do podatkov in njihova standardizacija, telekomunikacijske povezave in še vrsto drugih elementov. V okviru aktivne udeležbe države na področju geoinformacijske infrastrukture je ključnega pomena doseči 'visoko' politično raven zavedanja njene pomembnosti ter omogočiti institucionalno organiziranost pristojnih teles na državnem in lokalnem nivoju. Naloga nacionalnega koordinativnega telesa je skrbeti za opredeljevanje in vodenje politike, koordinacija na področju prostorskih informacijskih resursov v okviru vizije izrabe nacionalnih resursov, vzpodbujati nastanek ustreznih standardov, združevati interesne organizacije in skrbeti za izboljšanje kvalitete in uporabnosti geolociranih podatkov ob uporabi ustreznih tehnologij ter nenazadnje tudi nudenje podpore pri iskanju in zbiranju podatkov. Nacionalno koordinativno telo za področje geoinformacijske infrastrukture mora delovati na 'visokem' političnem in medresorskem nivoju, kar je ključno pomembno za prepotrebno politično razumevanje in podporo za operativni uspeh.

V državah, ki imajo omenjeno področje najbolj razvito, smo priča aktivni vlogi t.i. nacionalnega koordinativnega telesa, ki deluje v glavnem kot svetovalno telo pri sprejemanju pomembnih vladnih odločitev. ZDA so znana kot država, ki ima nacionalno koordinativno telo delujoče na najvišji hierarhični ravni državne uprave. National Spatial Data Infrastructure (NSDI) je organizacija ustanovljena z ukazom predsednika Clintona in je krovna organizacija, ki združuje vse proizvajalce in uporabnike geolociranih podatkov.

Predvsem s stališča nudenja podpore pri iskanju in zbiranju geolociranih podatkov, so v okviru NSDI ustanovili organizacijo imenovano National Geospatial Data Clearinghouse, ki jo lahko razumemo kot organizacijo, ki skrbi predvsem za metapodatkovni sistem. NSDI je nastala kot posledica naporov organizacije imenovane Federal Geographic Data Committe (FGDC), ki predstavlja zvezno organizacijo odgovorno za usmerjanje politike zajema, dostopnosti in distribucije geolociranih podatkov. FGDC je bila ustanovljena v letu 1990 s strani državnega organa imenovanega Executive Office of the President of the United States in sicer The Office of Management and Budget (OMB). Nadzor nad delovanjem FGDC izvaja t.i. Steering Committe, ki mu predsedujejo visoki državni uradniki (npr. člani kabineta predsednika ZDA).

Ustrezna organizacijska oblika nacionalnega koordinativnega telesa, za področje geoinformacijske infrastrukture, je na Nizozemskem Council for Real Estate Information (RAVI), ki se je konec leta 1993 preimenoval iz posvetovalnega organa v svetovalni organ v državni upravi. RAVI je ustanovil (ang.) Minister of Housing, Spatial Planning and Environment, ki je tudi prevzel odgovornost za koordinacijo na področju geoinformacijske infrastrukture. Ker pa je tovrstno področje le del širšega informacijskega področja, je koordinacijo med posameznimi ministrstvi prevzel t.i. Minister za koordinacijo. Odnosi med posameznimi ministri in ministrom določenim za koordinacijo so bili opredeljeni leta 1990 z vladno odredbo imenovano Decree on the Supply of Information.

Velika Britanija nima ustreznega neodvisnega telesa, kot druge tu omenjene države, ima pa od 1993 delujočo organizacijo imenovano Interdepartmental Group on Geographic Information (IGGI), ki združuje več kot 30 vladnih organizacij za opredelitev skupne vizije razvoja področja geoinformacijske infrastrukture. Posledica tega je tudi leta 1994 ustanovitev organizacije imenovane Spatial Information Network Enquiry Service (SINES), ki skrbi predvsem za metapodatkovni sistem.

Avstralija ima med vsemi državami najdaljšo zgodovino v zvezi z delovanjem nacionalnega koordinativnega telesa za področje geoinformacijske infrastrukture. Leta 1986 je bila ustanovljena organizacija imenovana Australian Land Information Council, katere naloga je koordinacija zbiranja, promocije in distribucije geolociranih podatkov med različnimi nivoju državne uprave. Organizacija je nastala na podlagi vsedržavnega dogovora. Leta 1991 se je v organizacijo priključila tudi Nova Zelandija, kar je imelo za posledico ustanovitev skupnega telesa imenovanega Australian and New Zealand Land Information Council (ANZLIC).

Iz opisanih primerov je razvidno, da je nacionalno koordinativno telo za področje geoinformacijske infrastrukture na visokem političnem in medresorskem nivoju. Izraze, ki opredeljujejo ta nivo, smo namenoma prikazali z izvirnimi termini, da bi poznavalcem posameznih struktur državne uprave omogočili verodostojno primerjavo. V začetku prispevka smo večkrat poudarili, da je politično razumevanje in politična podpora koordinativnemu telesu ključnega pomena za operativni uspeh, kar omenjeni primeri to vsekakor dokazujejo. V Sloveniji nacionalnega koordinativnega telesa, ki bi skrbel za razvoj področja geoinformacijske infrastrukture nimamo (vsaj ne v obsegu kot je to bil predstavljen v opisanih primerih), kar pa ne pomeni, da ga tudi ne potrebujemo.

3.2. Geoinformacijski center na državni in lokalni ravni (meta/osnovni podatkovni sistem)

Medsebojna obveščенost, tako proizvajalcev kot tudi uporabnikov geolociranih podatkov, je kritično pomembna za njihovo uporabo. Obveščенost pa lahko zelo učinkovito dosežemo tudi s pomočjo metapodatkovnega sistema, ki nam pomaga iskati odgovore na vprašanja katere baze obstajajo, kje se nahajajo, kdo je lastnik in kako jih lahko uporabljamo. V metapodatkovnem sistemu igrajo metapodatki ključno vlogo, saj so to izpeljane informacije o zgradbi, vsebini, kakovosti, zgodovini, organizaciji, dostopnosti, vrednosti, in uporabi shranjenih podatkov (Kvamme et al. 1997). Metapodatkovni sistem danes smatramo kot najboljšo in najbolj razširjeno promocijo uporabnosti in pomembnosti geolociranih podatkov, saj nudi vrsto informacij na enem mestu. Njegovo vzpostavitev pa moramo razumeti le kot eno izmed mnogih aktivnosti s področja geoinformacijske infrastrukture, med katerimi je potrebno predhodno opredeliti še bolj pomembne elemente kot so: opredeliti nacionalno politiko zajema podatkov, vzpostaviti standarde osnovnih geolociranih podatkov, opredeliti različne nivoje uporabnosti - hierarhije podatkov, ločiti strateške in operativne podatke, vzpostaviti, dokumentirati in integrirati podatkovne baze ter vzpostaviti sistem nacionalnega in mednarodnega obveščanja ter izmenjave podatkov. Institucionalno naj odgovornost za delovanje metapodatkovnega sistema prevzame Geoinformacijski center na državni ter seveda tudi na lokalni ravni, pač odvisno od lokalnih potreb. Geoinformacijski center na lokalni ravni lahko poleg metapodatkovnega sistema vzpostavi tudi t.i. osnovni podatkovni sistem, ki za razliko o metapodatkovnega sistema, ki vsebuje le metapodatke, združuje tudi osnovne geolocirane podatke v okviru svoje teritorialne pristojnosti.

3.3. Osnovni geolocirani podatki

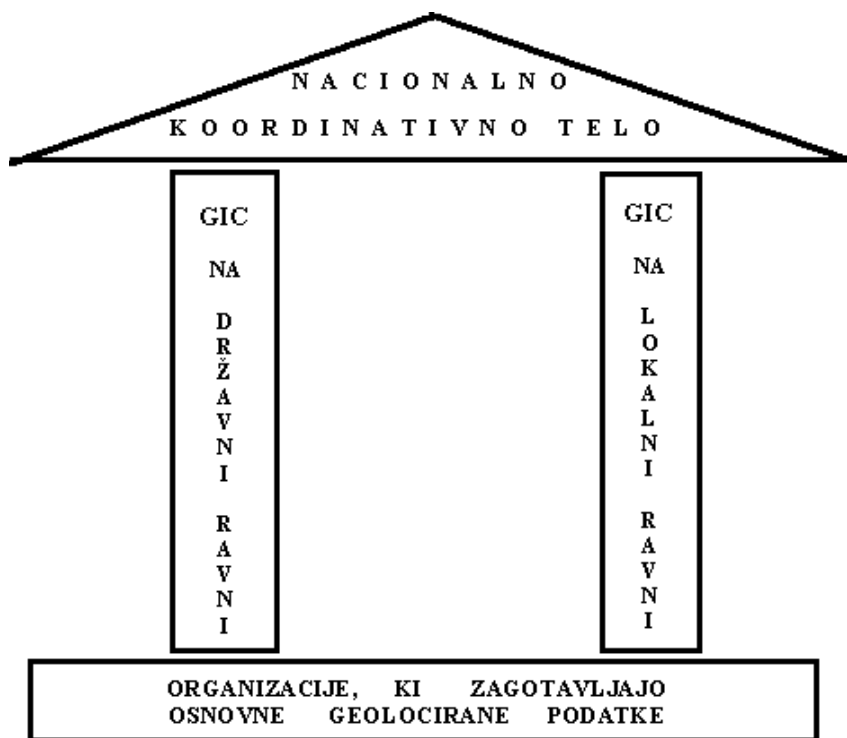
V okviru predstavljenega modela geoinformacijske infrastrukture razumemo kot osnovne geolocirane podatke tiste podatke, ki o objektu/pojavu v prostoru vsebujejo prostorske koordinate (v izbranem koordinatnem sistemu). Vzpostavitev osnovnih geolociranih podatkov predstavlja tisti element sistema geoinformacijske infrastrukture, ki uporabniku opredeljuje njegovo uporabnost in tako omogoča podporo procesu odločanja. Ravno slednje je osnovni namen podatkov, ki jih človek na podlagi svojega znanja in vedenja spreminja v informacije. Zdi se, da je v Sloveniji največji proizvajalec osnovnih geolociranih podatkov Ministrstvo za okolje in prostor, ki skrbi, ne samo za njihovo zajemanje, ampak tudi za posredovanje in v veliki meri tudi za promocijo uporabnosti in pomembnosti tovrstnih podatkov. Podobnih organizacij v izven javne/državne uprave, vendar v manjšem obsegu, ki proizvajajo in več ali manj uspešno uporabljajo geolocirane podatke, je v Sloveniji vsekakor veliko. Podvajanje in neracionalna raba že tako omejenih resursov potrebnih za njihovo zajemanje, je pa tako ali tako že vsakodnevna praksa. Pri proizvajalcih tovrstnih podatkov obstaja nešteto velikih in majhnih geolociranih podatkovnih baz, ki so rezultat različnih projektov in so zaradi nesistemskega pristopa v večji meri tudi izgubljene (glej GIS katalog 1997). V glavnem pa so te baze nepoznane, imajo različno strukturo ter so v večji meri tudi nezdržljive. Strošek zajema in vzdrževanja podatkov je v vsakem projektu njegova največja investicija, zato preseneča majhna pozornost proizvajalcev in uporabnikov, ki jo podatkom posvečajo. Ne velja pozabiti, da so stroški med strojno opremo, programsko opremo in podatki v razmerju 1 : 10 : 100 (Fritsch 1993). Pri tem

velja opozoriti, da cena podatkov ne sme biti odvisna od višine stroškov njihovega zajema/vzdrževanja, ampak od pripravljenosti kupca, da plača določeno ceno. Strategija mora biti dolgoročno usmerjena, zato naj temeljiti le na pomembnosti in potrebnosti geolociranih podatkov pri procesu odločanja.

4. Model slovenske geoinformacijske infrastrukture

Model slovenske geoinformacijske infrastrukture prikazuje v grafični obliki posamezne elemente, kar nam lahko služi tudi za opredelitev njihovih nalog, pristojnosti in odgovornosti. Nacionalno koordinativno telo opredeljuje, sprejema in vodi osnovna izhodišča politike geoinformacijske infrastrukture na državnem in (tudi) lokalnem nivoju. Geoinformacijski center na državni in/ali lokalni ravni naj bi bil izvrševalec tako opredeljenih strateških zahtev oziroma nalog. Če smo za Geoinformacijski center okvir njegovega delovanja opredelili z nacionalnim koordinativnim telesom, pa osnovo za njegovo delovanje lahko iščemo izključno v razpoložljivosti osnovnih geolociranih podatkov. Pod pojmom geolocirani podatki v tem primeru seveda razumemo organizacije, ki te podatke zagotavljajo. Geoinformacijski center torej lahko razumemo kot vmesnik med obema omenjenima institucionalnema nivojema (slika 1). Verjetno se bo zastavilo vprašanje, zakaj je potrebno imeti vmesni člen med t.i. strateškim in operativnim nivojem. Iz organizacijskega stališča namreč ni primerno oziroma utemeljeno, da ista organizacija postavlja t.i. politiko delovanja in jo istočasno tudi izvaja, saj s tem izpustimo kontrolno funkcijo uresničevanja zastavljenih ciljev. Delovanje Geoinformacijskega centra je odvisno od dejanskih potreb in situacije tako proizvajalcev kot uporabnikov geolociranih podatkov, vendar je njegovo vlogo potrebno razumeti v širšem okviru razumevanja geoinformacijske infrastrukture. Ozko pojmovanje nalog, pristojnosti in odgovornosti Geoinformacijskega centra lahko namreč privede do njegovega razumevanja le v okviru npr. računalniškega centra, operaterja komunikacijskih prenosov oziroma v izvajanju informacijskih nalog, ki jih že ustanovljene organizacijske enote na državni/lokalni ravni (ne) izvajajo. Enoznačnih navodil za delovanje Geoinformacijskega centra ni. Potrebno je težiti k vlogi, ki jo prikazuje model (slika 1), torej kot vmesnik oziroma povezovalc različnih vsebinskih (strateških in operativnih) nivojev. Kdaj in kje pa na lokalnem nivoju nastopi trenutek za ustanovitev Geoinformacijskega centra je seveda odvisno od količine podatkov, (ne)razpoložljivosti in (ne)primerljivosti podatkov, (ne)informiranosti vrhovnega vodstva, problemov pri procesu odločanja, (ne)uspešnega vodenja in koordiniranja geoinformacijskih potreb in nalog z okolico, analize procesov ter seveda še od vrste drugih elementov. Ne smemo pa pripisovati Geoinformacijskemu centru naloge, ki se ne izvajajo ali se izvajajo neuspešno v okviru pristojnosti in odgovornosti obstoječih organizacijskih (in informacijskih) enot. V slednjem primeru se moramo poslužiti ustreznih vodstvenih metod za reševanje nastalih problemov v okviru obstoječega stanja.

Iz modela v obliki hiše je razvidno, da temelje geoinformacijski infrastrukturi predstavljajo osnovni geolocirani podatki brez katerih ni mogoča 'nadgradnja'. Tako kot pri hiši, tudi v geoinformacijski infrastrukturi kvaliteto, trajnost in stabilnost v prvi vrsti predstavljajo temelji oziroma osnovni podatki, katerim mora biti v začetku namenjena največja pozornost. Podobnost med načinom izgradnje hiše oziroma geoinformacijske infrastrukture je več kot očitna, saj se le-ta začne od spodaj navzgor, pri kateri pa moramo vnaprej imeti pripravljen načrt izgradnje. To sicer ne pomeni, da aktivnosti nacionalnega



Slika 1 : Model slovenske geoinformacijske infrastrukture.

koordinativnega telesa niso potrebne že v času izgradnje temeljev, nasprotno njegova aktivna 'politična' vloga je več kot potrebna, velja pa opozoriti, da je uspeh vzpostavitve oziroma delovanja tako Geoinformacijskih centrov na različnih ravneh, kot tudi seveda nacionalnega koordinativnega telesa, pogojena z uspešnostjo vzpostavitve sistema osnovnih geolociranih podatkov. Povezanost vseh štirih elementov je tako močna, da ne govorimo več le o njihovi soodvisnosti ampak o sovisnosti, kar pred vse nas postavlja zahtevno nalogo za organizirano in koordinirano akcijo.

5. Sklep

V poglavju 2. smo skušali opredeliti pojem 'geoinformacijska infrastruktura' oziroma predvsem njeno področje dela, ki naj bi v najširšem smislu zagotavljalo široko in integrirano perspektivo sprejemanja in izvajanje politike, zakonodaje, standardov, ustrezne institucionalne organizacije ter nenazadnje tudi tehnologije za zajem, obdelavo, shranjevanje in distribucijo geolociranih podatkov. Iz omenjenega izhaja kompleksnost in širina delovanja, ki pa se mora odražati tudi v ustrezni družbeni veljavi. Zato se pred vse, ki smo kakorkoli povezani s področjem geoinformacijske infrastrukture, postavlja pomembna naloga primerne opredelitve omenjenega področja. V začetku to lahko naredimo predvsem z opredelitvijo medsebojnih relacij. Predlagani model, na konceptualnem nivoju, skuša jasno in slikovito prikazati razmejitev medsebojnih relacij predlaganih štirih elementov geoinformacijske infrastrukture.

Literatura in viri

- Frank, A.U. 1997: Geographic Information Business in the Next Century. Geographical Information.*
- Fritsch, D. 1993: Photogrammetry and Geographic Information Systems-evolution instead of revolution. Photogrammetrische Woche 44. Wichmann. Stuttgart.*
- Kenneth, K., Oštir-Sedaj, K., Stančič, Z., Šumrada, R. 1997: Geografski informacijski sistemi. Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti. Ljubljana.*
- Stanonik, B. 1997: Quid nunc, ONIX projekt - Zbornik referatov. Ministrstvo za okolje in prostor. Ljubljana.*

SLOVENSKA GEOINFORMACIJSKA INFRASTRUKTURA, METAPODATKI IN EVIDENTIRANJE PROSTORSKIH PODATKOV IN EVIDENC

Aleš Marinšek
Ministrstvo za okolje in prostor
Geoinformacijski center RS
Dunajska cesta 48, Ljubljana
ales.marinsek@mop.sigov.mail.si

Povzetek

UDK 659.2:681.3:711

Namen članka je v kratkem predstaviti pomen in vlogo metapodatkov in centralne evidence prostorskih podatkov oziroma metapodatkovnega sistema kot jedra bodoče slovenske geoinformacijske infrastrukture. Prikazana je vloga standardizacije in institucionalizacije zbiranja, hranjenja in posredovanja metapodatkov, pomen metapodatkovnega sistema za uporabnike in problematika s katero se srečujemo. V prilogi k članku je podan naš predlog metapodatkovnega standarda.

Ključne besede: geoinformatika, geoinformacijska infrastruktura, metapodatek, standard, metapodatkovni sistem, prostorski podatki

Abstract

UDC 659.2:681.3:711

*National geoinformation infrastructure, metadata and collecting data about spatial data
The aim of this article is to present metadata and metadata system as key base of geoinformation infrastructure. The article speaks about relevant standardization and institutionalization of collecting, storing and distributing of metadata. The emphasis is on user benefits of such a system. In the appendix is our proposal of metadata standard.*

Key words: geoinformatic, geoinformation infrastructure, metadata, metadata system, standards, spatial data

1. Uvod

Kakovostna informacija ob pravem času.

Dinamika razvoja strojne, programske in komunikacijske tehnologije je v zadnjih letih povzročila (ne)pričakovano ekspanzijo uporabe informacijskih sistemov na praktično vseh družbenih segmentih. Temeljna pridobitev razvoja pa ni v cenejši in hitrejši tehnologiji temveč v vsesplošnem spoznanju, da so informacije in podatki tisti segment informacijskih sistemov, ki pogojuje njihovo funkcionalnost in obstojnost. Uspešni so tisti sistemi, ki temeljijo na učinkovitem upravljanju, vzdrževanju, povezovanju in obdelavi informacij in podatkov. Hiter dostop, ažurnost, pravilna interpretacija, kompatibilnost in široka uporabljivost informacij in podatkov so osnovne karakteristike, ki ločijo dobre informacijske sisteme od slabih.

Ko govorimo o informacijskih in podatkih, ne moremo mimo dejstva, da se velika večina neagregiranih oz. primarnih podatkov neposredno navezuje na lokacijo v prostoru, za ostale pa lahko trdimo, da jih posredna geolokacija vsaj oplemeniti. Prostorski podatki¹

¹ Prostorski podatki (spatial data, geospatial data) so podatki, ki se neposredno ali posredno navezujejo na lokacijo v prostoru.

so danes strateška surovina sodobnih informacijskih sistemov za podporo odločanja v poslovnih procesih, pri upravljanju z nepremičninami, v procesih planiranja in optimiranja posegov v prostor, pri okoljskih in socioekonomskih analizah, pri racionalizaciji različnih upravnih postopkov itd. Nova spoznanja odpirajo tudi novo problematiko. Danes ni več osnovno vprašanje velikost spominskih medijev ali na primer procesorska moč. Danes se ubadamo oziroma bi se morali ubadati z dostopnostjo, cenovno politiko, avtorskimi pravicami, varovanjem osebnih podatkov, standardi, pravno veljavnostjo podatkov na elektronskih medijih, harmonizacijo in integracijo podatkov itd. Problemi s katerimi se srečujemo torej niso le tehnološki temveč širši, interdisciplinarni, in predvsem upravno organizacijski.

V nadaljevanju želim zastopati stališče, da je minil čas, ko je bila geoinformatika² prikazana skorajda kot mejna znanost. Danes ni več dvoma, da gre za poslovni segment, ki ga je z vidika informacijske tehnologije razmeroma enostavno podpreti, ki pa resnici na ljubo zahteva nekaj več napora (vsaj v prvi fazi) na organizacijskem in institucionalnem področju. Še več, upam si trditi, da je bodočnost informatike prav geoinformatika.

2. Razlogi

Danes imamo v Sloveniji veliko prostorskih podatkov v katere je država investirala nemalo sredstev. Za koliko takih podatkov vemo, koliko jih je dostopnih in koliko od teh je uporabnih?

2.1. Pomanjkanje informacij o podatkih

Tako kot pri ostalih izdelkih velja tudi za podatke, da je njihova uporabnost omejena s kakovostjo, celovitostjo, popolnostjo, namenom vzpostavitve in časom uporabe. Ker se večina prostorskih podatkov uporablja v različnih okoljih in za različne namene, je treba zagotoviti, da ima potencialni uporabnik na voljo poleg samega podatka tudi njegov natančen opis. Samo na ta način lahko zagotovimo, da bo uporaba prostorskih podatkov smotrna in da bodo rezultati te uporabe pravilno interpretirani.

Razvoj informacijske tehnologije nam je omogočil, da so geoinformacijska orodja, ki so bila še do nedavnega v veliki meri nedostopna in zaprta, prišla na delovno mizo posameznika. Krog uporabnikov se tako iz dneva v dan širi, iz dneva v dan pa prihaja na plano vse več problemov, ki so posledica neurejenega stanja na tem področju³. Dogaja se namreč⁴, da:

- uporabnik porabi večino časa za iskanje zelenih podatkov,
- dokumentacija o podatkih ne obstaja ali pa je nezadovoljiva in neenotna,
- uporabnik uporablja podatke pri tem pa ne pozna njihove kakovosti,
- prihaja do večkratnega zajema istih ali podobnih podatkov,

² Geoinformatika je področje dejavnosti, ki s sistematičnim pristopom integrira sredstva in metode potrebne za zajem, vodenje, upravljanje in uporabo prostorskih podatkov.

³ Svetle izjeme le potrjujejo pravilo, nikakor pa ne kažejo na to, da se problematika rešuje sistematično in organizirano.

⁴ MOP projekt ONIX / analiza obstoječega stanja, MORS/URSZR projekt: Prikaz ocen ogroženosti zaradi naravnih in drugih nesreč, itd.

- uporabniki nimajo vpliva na sooblikovanje vzpostavljanja podatkov.

Tako kot drugod po svetu so se tudi pri nas v prejšnjih letih pojavili posamezniki, ki so v svojih delovnih sredinah vzpostavili določeno stopnjo sistematike na tem področju. Vendarle pa so to bolj izolirani poizkusi med katerimi praviloma ni systemske povezave. Povezovanje in sodelovanje se v današnjem okolju izvaja le na individualni pripravljenosti posameznikov. Medtem ko je država na tem področju odlično poskrbela za koordinacijo vzpostavljanja tehnološke infrastrukture⁵, pa še vedno šepa na področju koordinacije vzpostavljanja podatkovne infrastrukture⁶.

2.2. Neurejeno naročanje, pridobivanje in posredovanje podatkov

Vrednost podatkov ni in ne sme biti zgolj vrednost investicije za njihovo vzpostavljanje. Ker se vrednost podatkov izraža z vrednostjo njihove uporabe jih je treba v čim večji meri približati uporabnikom. Pri tem pa se tako potencialni uporabniki kot tudi upravljalci⁷ dotaknejo naslednjega segmenta problemov:

- neurejena cenovna politika,
- nedorečeno lastništvo podatkov in avtorske pravice,
- način varovanja osebnih podatkov,
- različni načini posredovanja in množica formatov ter nosilcev zapisa,
- pravna veljavnost informacij na elektronskih nosilcih.

Znotraj državne uprave in celo znotraj posameznih resorjev so pravila in postopki izdajanja podatkov različni od oddelka do oddelka. Nekatere službe oziroma organi izdajajo podatke na osnovi veljavnega pravilnika in cenika, večina pa takih pravilnikov niti nima. V splošnem velja, da so pravilniki in ceniki med seboj neuskklajeni, zastareli in v nobenem primeru ne sledijo potrebam in željam tako uporabnikov kot tudi samih upravljalcev.

Zaradi nedorečenega lastništva in avtorskih pravic nad podatki so uporabniki nemalokrat v dilemi za kakšne namene in pod kakšnimi pogoji lahko podatke uporabijo, kje je meja, ko oplemenitenje podatkov spreminja lastniške in avtorske odnose. Na drugi strani pa se upravljalci sprašujejo, kdo in kako bo skrbel za spoštovanje pogojev uporabe in avtorskih pravic, kdo in kako bo kršitelje identificiral in kdo jih bo pravno preganjal. Za samo posredovanje podatkov je značilno, da je tehnologija (format, medij, način) različna od službe do službe. Ponekod uporabljamo sodobno drugje spet zastarelo tehnologijo, nikjer pa popolnoma ne izkoriščamo možnosti, ki jih imamo danes na voljo⁸. Posebno področje, ki ga bo traba doreči je pravna veljavnost informacij in podatkov na elektronskih nosilcih. Tudi na tem področju je tehnologija pripravljena, potrebujemo le organizacijsko in pravno podporo⁹.

⁵ CVI, Center Vlade za Informatiko.

⁶ Razen nekaterih izjem (npr. Zakon o statistiki), ki pa so spet prej zasluga posameznikov kot kaj drugega.

⁷ Pod upravljalce smatramo lastnike, producente oziroma upravljalce prostorskih podatkov.

⁸ Izjeme: npr. RPE, PSZKN.

⁹ S tem področjem se ukvarja tudi CVI. Nekatere službe (npr. Agencija za plačilni promet RS) so omenjeno problematiko delno že rešile.

2.3. Harmonizacija in integracija podatkov

Podatkovne baze oziroma evidence se pogosto (na žalost) vzpostavljajo v nekem zaprtem okolju in za omejen namen. Tako lahko danes, ko analiziramo take baze, opazimo, da:

- je večina podatkov še vedno analognih¹⁰,
- je struktura baz (entitetni modeli, topološki modeli) neprimerna,
- so podatki neažurni in slabe kakovosti¹¹,
- je integracija in harmonizacija baz in evidenc praktično nemogoča,

Dogaja se, da so celo znotraj posameznih resorjev podatkovne baze neuskklajene in nepovezljive. Obstoječi zakoni in tisti v nastajanju, oziroma ustrezni podzakonski akti, slabo ali pa sploh ne operacionalizirajo sodobnih spoznanj upravljanja s podatki. Razlogi so objektivni, saj se pri vse večjih potrebah po informatizaciji in s tem racionalizaciji postopkov, ki jih zakonodaja predpisuje, zakonodajalec ne more opreti na nek trden in dolgoročen temelj. Dimenzija problemov se bo v postopkih prilagajanja in integracije Slovenije v EU še povečala, prihajalo bo do adhoc harmonizacij, ki pa jih bo zelo težko izpeljati.

3. Vizija

Zagotoviti je treba infrastrukturo, ki bo omogočala učinkovito vzpostavljanje, izmenjavo in uporabo informacij in podatkov.

3.1. Geoinformacijska infrastruktura (GII)

Kljub izrazu, ki v prvem trenutku asocira le na tehnologijo, je geoinformacijska infrastruktura¹² mnogo več kot le to. Gre za splet standardizacije, zakonodaje, tehnologije, podatkov in uporabnikov, splet znanosti, institucionalnih vidikov, tržnih zakonitosti in tehnoloških zmožnosti ter upravljaljskih funkcij. GII predstavlja korak globlje v informacijsko družbo, ki bo znala bolj učinkovito izrabiti podatke in informacije, ki bo povezala državljane in institucije države in ki bo znala odgovoriti na vprašanja kako bolj učinkovito upravljati s prostorom in okoljem. Napačno bi bilo, če bi želeli vzpostaviti GII le zaradi posnemanja trendov v svetu. Vzpostaviti jo moramo zaradi koristi, ki jih bo v prihodnosti prinesla tako posameznim državljanom kot tudi javnemu in privatnemu sektorju.

Sodobna in funkcionalna geoinformacijska infrastruktura mora zagotavljati postopke za upravljanje dveh ključnih vidikov: (i) koordinacije politike, zakonodaje, standardizacije in strategije ter (ii) jedra uporabniških storitev za zbiranje, hranjenje in posredovanje prostorskih podatkov in njih informacij. Izkušnje v svetu kažejo, da je dolgoročen uspeh pogojen z institucionalizacijo upravljalca GII, ki ima take pristojnosti in obveznosti, da na eni strani zagotavlja vertikalno in horizontalno povezovanje državnih in lokalnih služb ter privatnega sektorja in, da na drugi strani zagotavlja ravnovesje med strateškimi cilji države in razvojem geoinformacijskega trga.

V vseh primerih vzpostavljanja geoinformacijskih infrastruktur v svetu, ki smo jih v dosedanjem delu analizirali, se je pokazalo, da se je GII razvila predvsem tam, kjer so v prvi fazi poskrbeli za minimalno in pozitivno regulativo¹³ pri institucionalizaciji upravljalca

¹⁰ Sem uvrščamo tudi digitalizirane kartografske materiale.

¹¹ Kakovost podatkov v smislu položajske natančnosti, logične konsistence, celovitosti itd. (CEN prEN287008).

¹² Angl. GeoInformation Infrastructure (GII).

takega sistema. Analize so tudi pokazale, da je jedro bodoče GII postavljen z metapodatkovnim sistemom oziroma z formalizacijo strukture metapodatka, določitev relacij med upravljalci in uporabniki prostorskih podatkov in zagotovitev dostopa do metapodatkov.

3.2. Metapodatek

Prostorski podatki so preslikava določenega pojava ali stanja v prostoru v analogno ali digitalno obliko. Gre torej za abstrakcijo, ki je v vsakem primeru lahko le delna. Nekatere pojave aproksimiramo, nekatere poenostavimo, druge spet zanemarimo. Upravljalci prostorskih podatkov določijo stopnjo abstrakcije (vsebino in kakovost), ki je sprejemljiva za lastno, konkretno uporabo. Ker pa se večina prostorskih podatkov uporablja v različnih okoljih za različne namene, je treba zagotoviti, da ne pride do napačnih interpretacij vsebine ali celo napačnih izbir analitičnih osnov. Potrebujemo torej neke vrste osebno izkaznico prostorskih podatkov, ki ji pravimo metapodatki¹⁴. Metapodatki so po definiciji podatki o podatkih, ki opišejo vsebino, namen, uporabnost in kakovost podatkov, predstavijo lastnika, vzdrževalca in distributerja, opišejo način, postopek, ceno in pogoje posredovanja ter posredujejo vse druge informacije, ki so potrebne za pravilno izbiro in uporabo prostorskih podatkov.

Metapodatki so pomembni predvsem ker:

- se dogaja, da uporabnik porabi veliko časa, da najde željene podatke,
- se dogaja, da ključne osebe, ki posredujejo podatke zamenjajo službo ali se upokojijo s tem pa seboj odnesejo njihove "mentalne metapodatke",
- se dogaja, da nekdo uporabi podatke v analitičnih postopkih, se na podlagi rezultatov, ki jih dobi odloča o strateških ukrepih pri vsem tem pa niti ne pozna natančnosti in celovitosti vhodnih podatkov,
- prostorski podatki predstavljajo investicijo, ki je v nemalo primerih strateškega pomena za neko okolje, službo, dejavnost ali celo državo.

Značilnost GIS¹⁵-ov osemdesetih in začetka devedesetih je relativna zaprtost in omejenost na določene skupine uporabnikov: vojska, akademska sfera in ponekod tudi posamezni segmenti državne uprave. Bliskovit razvoj globalnih komunikacij, nekaj strateških preobratov v GIS industriji in razvoj trga podatkov, so GIS sisteme povzdignili iz lokalnih v globalno sfero. Ta prehod pa je pripeljal do spoznanja, da je standardizacija na tem področju neurejena, pomankljiva in zastarela. Najbolj očitne težave so se pokazale pri procesih izmenjave prostorskih podatkov. Medtem ko je za tehnološko plat dokaj hitro poskrbela industrija GIS orodij, je ostala izmenjava informacij o podatkih še dolgo nedorečena.

3.3. Standardizacija metapodatkov

Zanimivo in poučno je pogledati postopke standardizacije metapodatkov v različnih okoljih. Sprva je skupaj z globalizacijo GIS sistemov na površino priplavalo veliko število internih in lokalnih standardov, ki so dokaj uspešno služili zaključenim skupinam uporabnikov, komunikacije med posameznimi skupinami pa so bile nedorečene in s tem otežene. Določeni standardi so se omejili le na najnujnejše informacije, ki so potrebne, drugi pa

¹³ Npr. Executive Order 12906, April 1994, USA, President Clinton.

¹⁴ Angl. metadata.

¹⁵ Angl. GeoInformation System.

so bili bolj podobni tehnični dokumentaciji prostorskih podatkov. Kot se je kasneje izkazalo sta se takrat pričela porajati dva glavna pristopa k razvoju metapodatkovnega standarda: ameriški in evropski.

Američani so zadevo zastavili zelo visoko saj je postopek formalno pričel sam predsednik ZDA, operativno pa prek Federal Geographic Data Committee (FGDC) vodil sekretar za notranje zadeve. FGDC je dobil vse pristojnosti, da določi okvir in princip sprejemanja standarda. Američani so tako strnili vse možne sile in v zelo kratkem času prišli do standarda: Standard for Digital Geospatial Metadata (SDGM). Zanimivo je to, da se zavedajo, da je standard v nekaterih detajlih nepopolen, da je morebiti na nekaterih mestih nerazumljiv, skratka, da bi lahko bil boljši. Kljub temu pa so se odločili, da zavestno sprejmejo takšnega kot je, ga dajo v uporabo in ne zavlačujejo v neskončnih postopkih uveljavljanja nepomembnih popravkov in izboljšav. Zavestno so se torej opredelili: bolje osnova danes kakor celota jutri. Rezultat take odločitve je množična podpora uporabnikov predvsem pa implementacija tega standarda v skoraj vsa komercialna GIS orodja. Mimogrede, iz katerega okolja prihajajo največji proizvajalci GIS orodij?

Evropa se je zadeve lotila na bolj klasičen, bolj formalen način. V okviru CEN je bil ustanovljen tehnični komite TC287, katerega naloga je priprava standardizacije s področja geoinformatike. O samem postopku ne bi polemiziral, poudaril bi le dejstvo, da je neverjetno dolgotrajen, prepleten tudi s političnimi tendencami in akademskimi podrobnostmi. Rezultat vsega tega pa je današnji osnutek standarda, ki je sicer uporaben, ne pa tudi zaključen. V zadnjem času se pojavljajo zanimivi dogodki, ko se kar celi sklopi CEN/TC287 standardov zaradi nezmožnosti usklajevanja prenašajo in prepuščajo ISO¹⁶. Če bo evropski standard sprejet (morda se bo v celoti prepustil ISO?), bo verjetno tehnično boljši in bolj sodoben kot ameriški. Vendar pa je vprašanje kdaj, kje in v kakšnem obsegu ga bomo uporabljali.

V Sloveniji smo se standardizacije metapodatkov lotili že leta 1995, ko smo prevzeli FGDC-jev standard in implementirali sistem za povpraševanje po metapodatkih – metapodatkovni sistem. Osnovno izhodišče, ki smo si ga takrat zastavili, je bilo v čim krajšem času zagotoviti osnovno funkcionalnost in tako vzpodbuditi uporabo sistema. V določenem obdobju smo celo prehiteli dejavnosti FGDC-ja od katerih (in ne le od njih) smo dobivali spodbudna mnenja in potrditve o pravilno izbrani poti. Zataknilo pa se je doma. Kaj kmalu smo namreč pričeli dlakocepiti o relativno nepomembnih podrobnostih zaradi katerih je postala pomembnejša forma kot vsebina. Zašli smo v stanje, ko se je vedno pojavil nekdo, ki je sicer argumentirano a vendarle v celoti vzeto nepotrebno zagovarjal svoj prav. Iz takega stanja nas je na srečo potegnili načelna usmeritev Urada RS za Standardizacijo in Meroslovje (USM), da bo postopno sprejel vso CEN standardizacijo s področja geoinformatike. Ker še vedno stojimo za tem, da je bolje nekaj danes kot čakati na jutri, smo se te odločitve oprijeli in zasnovali sistem na osnovi predloga CEN standarda za metapodatke¹⁷.

¹⁶ Prihodnost standardizacije metapodatkov je prav gotovo v mednarodnem ISO standardu (TC211 15046-15), ki bo združil najboljše obstoječe rešitve, morebiti dodal večjezično podporo in zagotovil strukturo potrebno za prihajajoče sisteme usmerjevalnikov prostorskih podatkov.

Vse do dokončnega sprejema mednarodnega standarda pa se ne smemo obremenjevati s podrobnostmi, ki jih izbrani standard zanemarja ali bi jih lahko reševal kako drugače, temveč se moramo osredotočiti na vsebine metapodatkov. Vsi lastniki prostorskih podatkov se morajo zavedati, da posedujejo dragocenosti, katerim morajo dodati le vedenje o njih obstoju, kakovosti, dostopnosti in uporabnosti ter tako z relativno malo truda zagotovijo to kar bi si sami želeli vedeti o podatkih nekoga drugega.

3.4. Metapodatkovni sistem

Kot že samo ime pove je metapodatkovni sistem (MPS) sistem, ki upravlja z metapodatki, omogoča zbiranje, shranjevanje, ažuriranje in poizvedovanje ter posredovanje informacij. Preprosto gre za to kako upravljati skupek informacij o podatkih in kako povezati lastnike podatkov s potencialnimi uporabniki. MPS je torej sistem, ki pomaga posamezniku poiskati in razumeti obstoječe podatke.

V neurejenem okolju se informacije med uporabniki in lastniki prostorskih podatkov vzpostavljajo na individualni osnovi. Tak način temelji na subjektivni pripravljenosti in odgovornosti posameznika, kar samo po sebi še ne pomeni nekaj slabega. Slabosti se pokažejo v primeru ko določen subjekt odpove; bodisi zaradi velike količine in frekvence pretoka informacij bodisi zaradi kakršnih koli subjektivnih okoliščin. Rešitvi takih problemov je umestitev MPS, ki centralizira komunikacijo med uporabniki in lastniki podatkov. Na tak način zmanjšamo potrebo po številu kontaktov in omogočimo neko skupno točko, kjer lahko relativno enostavno implementiramo standardizirano okolje. Tako okolje pa omogoči, da določimo pravila, ki veljajo za vse udeležence. MPS mora vzpostaviti na eni strani organizacijsko politične okvire s katerimi vspodbudimo interes ali zagotovimo zahtevo za posredovanje metapodatkov na drugi strani pa tehnično tehnološko osnovo za delovanje sistema. Prioriteta obeh vidikov je nedvoumna. Še tako tehnološko sofisticiran sistem namreč ni uporaben, če zanemarimo vsebino. Jedro MPS so torej kakovostni, ažurni in celoviti metapodatki, ki jih zbiramo in hranimo v standardnem formatu ter posredujemo na način, ki zagotavlja širok krog odjemalcev.

MPS je prav gotovo jedro GII in prvi korak, ki ga je treba izpeljati. S tehnološkega vidika je sama implementacija sistema razmeroma nezahtevna. Tudi odločitev o komunikacijskem protokolu je danes, v dobi in razcvetu Interneta jasna. Veliko bolj problematična pa je odločitev, kako zagotoviti kakovostne metapodatke, torej vsebino sistema. Sistem bo namreč funkcionalen šele tedaj, ko bo vseboval ažurne in kakovostne metapodatke o vseh ali vsaj veliki večini prostorskih podatkov.

Funkcionalen in uveljavljen metapodatkovni sistem je in mora biti osnova za sisteme, ki nadgrajujejo delovanje GII. Gre predvsem za sisteme za poenoteno naročanje in posredovanje prostorskih podatkov, sisteme za neposreden dostop do podatkov ter sisteme za komunikacijo med udeleženci GII. Cilj h kateremu je treba strmeti je prav gotovo oddaljeno analitično procesiranje¹⁸ prostorskih podatkov na osnovi integriranih informacijskih sistemov in seveda harmoniziranih podatkov.

¹⁷ Glej prilogo A.

4. Sklep

Namesto klasičnega zaključka bi rad še enkrat povzel glavne vidike vzpostavitve temelja geoinformacijske infrastrukture - metapodatkovnega sistema.

Cilj

Vzpostaviti sodobno, informacijsko podprto, okolje za zbiranje, hranjenje in posredovanje informacij o prostorskih podatkih.

Namen

- omogočiti uporabniku, da na enem mestu, v enotni obliki in na enoten način pridobi informacije o prostorskih podatkih,
- omogočiti upravljalcu, da na enem mestu, v enotni obliki in na enoten način posreduje informacije o prostorskih podatkih,
- z dvosmerno komunikacijo povezati uporabnike z upravljalci, vzpodbuditi uporabo obstoječih prostorskih podatkov in omogočiti širok vpliv pri sooblikovanju vzpostavljana uporabniško orientiranih prostorskih podatkov.

Izhodišča

- centralno vodena organizacija (način delovanja/politika),
- centralna evidenca prostorskih podatkov,
- prilagajanje evropskemu konceptu (standardi, regulativa),
- brezplačno posredovanje informacij,
- javen in sodoben dostop do informacij (orodja),
- uporaba enoličnega identifikatorja metapodatka.

Funkcionalnost

- na urejen način zbrati, združiti in hraniti metapodatke,
- oddaljen dostop do centralnega registra prostorskih podatkov,
- princip distribuiranega dostopa prek virtualnih metapodatkovnih strežnikov,
- omogočiti iskanje in selekcijo metapodatkov na osnovi določenih kriterijev,
- na uporabniku prijazen način posredovati vsebino metapodatkov,
- omogočiti kazalce na referenčne informacije in konkretne prostorske podatke,
- zagotoviti dvosmerno komunikacijo med sistemom in uporabnikom,
- skrbeti za varnost, avtorizacijo in integriteto tako uporabnikov kot tudi informacij,
- zagotoviti osnovo za postopke naročanj, zaračunavanj in plačevanj uslug,
- poskrbeti za sistem periodičnega publiciranja in oglaševanja.

Literatura in viri

- FGDC 1994: Guidelines for Implementing the National Geospatial data Clearinghouse. U.S. Federal Geographic Data Committee.*
- McLaughlin, J., Nicholas, S. 1994: Developing a National Spatial Data Infrastructure. Journal of Surveying Engineering, vol 120.*
- CEN/TC 287, Work Programme of CEN/TC 287, 1996.*

¹⁸ On-line analytical processing (OLAP).

- CEN/TC 287, Geographic Information Draft European Standards (Reference Model , Spatial schema, Quality, Metadata, Transfer, Position, Query and update, Geographic identifiers).*
- ISO/TC 211, Programme of Work, 1997.*
- Guarda, B. 1995: What metadata is and why it is important. Wisconsin Land Information Association (WWW).*
- Nabiol, A., Yesha Y. 1996: Electronic commerce and digital libraries. ACM Computing Surveys 28.*
- Gardels, K., Buehler, K.: An object oriented framework for accessing distributed, heterogeneous geographic information. Open GeoData Interoperability Services.*
- Zakon o standardizaciji. Uradni list RS št. 1/95.*

Dodatek A – Struktura metapodatka

| Id el. | Element | Opis | Omej. | Kard. | Tip |
|--------|---|---|-------|-------|-----------|
| 1. | Identifikacija podatkovnega niza | Naslov podatkovnega niza je enolično ime podatkovnega niza v sklopu odgovorne organizacije ali lastnika. | M1 | 1 | Struktura |
| 1.1 | Naslov | Alternativni naslov je drugo ime podatkovnega podatkovnega niza v istem ali kakšnem drugem jeziku. | M1 | 1 | Besedilo |
| 1.2 | Alternativni naslov | Okrajšani naslov je kratko ime za podatkovni niz. | O | 1 | Besedilo |
| 1.3 | Okrajšani naslov | Okrajšani naslov je kratko ime za podatkovni niz. | O | 1 | Besedilo |
| 2. | Pregled podatkovnega niza | Povzetek podaja kratek pregled vsebine podatkovnega niza. | M1 | 1 | Struktura |
| 2.1 | Povzetek | Namen podaja povzetek smotrov, za katere je bil podatkovni niz razvit (prEN 287008 sec. 6.3). | M1 | 1 | Besedilo |
| 2.2 | Namen | Uporaba je seznam dejavnosti, za katere je bil podatkovni niz ustvarjen, kar vključuje: uporabniško področje, ime in naslov takšne organizacije, datum uporabe itd. (prEN 287008 sec. 6.3). | M1 | 1 | Besedilo |
| 2.3 | Uporaba | Geometrična podshema je tip konceptualne geometrične podsheme za podatkovni niz (denimo grid, špagetna mreža, ravninski graf itd.) (prENV 12160). | M1 | 1 | Besedilo |
| 2.4 | Geomet. podshema | Prostorski referenčni sistem podaja informacije o v podatkovnem nizu uporabljenem eksplicitnem (koordinatni sistem) ali implicitnem (posredni sistem) načinu podajanja lokacij geografskih pojavov. | M2 | 1 | Besedilo |
| 2.5 | Prost. ref. sistem | Jezik podaja v podatkovnem nizu uporabljeni jezik in nabor znakov. | M2 | 1 | Besedilo |
| 2.6 | Jezik | Referenčna literatura podaja dodatno literaturo oziroma dokumentacijo in jezikovne reference o podatkovnem nizu. | O | 1 | Besedilo |
| 2.7 | Referenčna literat. | Zgled je demonstracijska grafika kot primer za podatkovni niz. | O | 1 | Slika |
| 2.8 | Zgled | Referenčni podatkovni nizi podajajo naslov in lastnika za vsak referenčni podatkovni niz, ki lahko uporabniku verjetno nudi dodatne zanimive podatke. | O | 1 | Besedilo |
| 2.9 | Ref. podat. nizi | Vir podaja povzetek preteklih obdelav podatkovnega niza (prEN 287008 sec. 6.2.2). | M1 | 1 | Struktura |
| 3. | Parametri kakovosti podatkovnega niza (prEN 287008) | | M2 | 1 | Besedilo |
| 3.1 | Vir | Celotna položajska natančnost podaja povzetek geometrične natančnosti v podatkovnem nizu. | M1 | 1 | Besedilo |
| 3.2 | Celotna pol. nat. | | | | |

| | | | | | |
|---------|---|--|----|---|-----------|
| 3.3 | Celotna tem. nat. | Celotna tematska natančnost je povzetek pravilnosti klasifikacij pojavov, atributov in asociacij v podatkovnem nizu. | M1 | 1 | Besedilo |
| 3.4 | Celotna čas. nat. | Celotna časovna natančnost podaja povzetek bližnje časovnih vrednosti atributov v podatkovnem nizu do vrednosti, ki se pojmujejo kot pravilne. | M1 | 1 | Besedilo |
| 3.5 | Celotna log. uskl. | Celotna logična usklajenost podaja povzetek stopnje strukturalne celovitosti podatkovnega niza. | M1 | 1 | Besedilo |
| 3.6 | Celotna popolnost | Celotna popolnost podaja povzetek razlik med podatkovnim nizom in njegovimi specifikacijami. | M1 | 1 | Besedilo |
| 4. | Prostorski referenčni sistem podatkovnega niza | | M2 | 1 | Struktura |
| 4.1. | Posredni prostorski referenčni sistem (prEN 287011) | | O | 1 | Struktura |
| 4.1.1 | Tip posr. ref. sistema | Tip posrednega referenčnega sistema podaja opis posrednega referenčnega sistema, v katerem so podani položaji, na primer: občina, okraj, oznaka karte itd. | M2 | 1 | Besedilo |
| 4.1.2 | Referenčni datum | Referenčni datum podaja izhodiščni datum veljavnosti referenčnega sistema. | O | 1 | Datum |
| 4.1. | Direktni prostorski referenčni sistem (prEN 287011) | | O | 1 | Struktura |
| 4.2.3 | Datum | Datum podaja referenčni datum. | M2 | 1 | Besedilo |
| 4.2.4 | Elipsoid | Elipsoid opredeljuje referenčni elipsoid. | M2 | 1 | Besedilo |
| 4.2.5 | Projekcija | Projekcija. | M2 | 1 | Besedilo |
| 4.2.6 | Višinski ref. sistem | Višinski referenčni sistem služi za osnovo pri določanju višin. | M2 | 1 | Besedilo |
| 5. | Geografski in časovni obseg podatkovnega niza | | M2 | 1 | Struktura |
| 5.1. | Veljavnost informacij o obsegu in popolnosti | | M2 | 1 | Struktura |
| 5.1.1 | Datum | Datum obsega podaja veljavnosti statusa in opisa obsega. | M2 | 1 | Datum |
| 5.1.2 | Status | Status obsega je obseg, na kateri podatkovni niz ustreza načrtovanemu končnemu geografskemu pokrivanju in kakršnikoli geografski variaciji v klasifikaciji. | M2 | 1 | Besedilo |
| 5.2. | Ravninski obseg | | M2 | 1 | Struktura |
| 5.2.1. | Mejna XY | | O | 1 | Struktura |
| 5.2.1.1 | Min x | Minimalna x koordinate obsega podatkovnega niza. | M2 | 1 | Število |
| 5.2.1.2 | Min y | Minimalna y koordinate obsega podatkovnega niza. | M2 | 1 | Število |
| 5.2.1.3 | Max x | Maksimalna x koordinate obsega podatkovnega niza. | M2 | 1 | Število |
| 5.2.1.4 | Max y | Maksimalna y koordinate obsega podatkovnega niza. | M2 | 1 | Število |
| 5.2.2. | Mejno področje | | O | 1 | Struktura |
| 5.2.2.1 | Mejno področje | Mejno področje je s pomočjo niza lomnih točk obodnega poligona (pari x in y koordinat) podana meja področja, ki ga pokriva podatkovni niz (prEN 12160 sec. 6.1.4). | M2 | 1 | Področje |

| | | | | | |
|---------|---------------------------------------|--|----|---|-----------|
| 5.2.3. | Geografsko območje | Vrsta posrednega referenčnega sistema podaja opredelitev posrednega sistema, v katerem so podane področne enote. | O | 1 | Struktura |
| 5.2.3.1 | Vrsta posr. ref. sist. | Ime področne enote podaja naziv področne enote, ki jo pokriva podatkovni niz. | M2 | 1 | Besedilo |
| 5.2.3.2 | Ime področne enote | Identifikacijska koda področne enote podaja enolično oznako področne enote, ki jo pokriva podatkovni niz. | M2 | 1 | Besedilo |
| 5.2.3.3 | Id. koda podr. enote | Pokritje je pokazatelj, ki podaja popolnost pokritosti področne enote. | M2 | 1 | Besedilo |
| 5.2.3.4 | Pokritje | Minimalna vrednost vertikalnega obsega, ki ga pokriva podatkovni niz. | M2 | 1 | Besedilo |
| 5.3. | Vertikalni obseg | Maksimalna vrednost vertikalnega obsega, ki ga pokriva podatkovni niz. | O | 1 | Struktura |
| 5.3.1 | Minimalna vrednost | Časovni obseg | M2 | 1 | Število |
| 5.3.2 | Maksimalna vrednost | Začetni datum | M2 | 1 | Število |
| 5.4. | Časovni obseg | Končni datum | O | 1 | Struktura |
| 5.4.1 | Začetni datum | Definicija podatkov podatkovnega niza | M2 | 1 | Datum |
| 5.4.2 | Končni datum | Opis aplikativne sheme | M2 | 1 | Datum |
| 6. | Definicija podatkov podatkovnega niza | Id. aplikativne sheme | M2 | 1 | Struktura |
| 6.1. | Opis aplikativne sheme | Aplikativna shema | O | 1 | Besedilo |
| 6.1.1 | Id. aplikativne sheme | Objektni tip | O | 1 | Besedilo |
| 6.1.2 | Aplikativna shema | Ime pojavnega tipa | M2 | N | Struktura |
| 6.2. | Objektni tip | Opred. pojav. tipa | M2 | 1 | Besedilo |
| 6.2.1 | Ime pojavnega tipa | Koda objektnega tipa | M2 | 1 | Besedilo |
| 6.2.2 | Opred. pojav. tipa | Pojavnost | O | 1 | Besedilo |
| 6.2.3 | Koda objektnega tipa | Tematska natančnost | O | 1 | Besedilo |
| 6.2.4 | Pojavnost | Položajska natančnost | O | 1 | Besedilo |
| 6.2.5 | Tematska natančnost | Popolnost | O | 1 | Besedilo |
| 6.2.6 | Položajska natančnost | Atributni tip | O | 1 | Besedilo |
| 6.2.7 | Popolnost | Ime atributnega tipa | O | 1 | Besedilo |
| 6.2.8 | Atributni tip | Ime atributnega tipa je Besediloulalna oznaka, ki opisuje tip atributa. | O | N | Struktura |
| 6.2.8.1 | Ime atributnega tipa | | M2 | 1 | Besedilo |

| | | | | | |
|----------|---------------------------------|---|----|---|-----------|
| 6.2.8.2 | Opred. atrib. tipa | Opredelitev atributnega tipa opisuje tip atributa, oziroma ga povezuje z ustrezno standardno definicijo. | M2 | 1 | Besedilo |
| 6.2.8.3 | Koda atributnega tipa | Koda atributnega tipa je numerična, znakovna ali pa mnemonična koda, ki je lahko privzeta iz ustreznega standardnega kodnega seznama. | O | 1 | Besedilo |
| 6.2.8.4 | Domena atrib. tipa | Domena atributnega tipa je dovoljeni obseg nominalnih, vrstinih, intervalnih ali pa racionalnih vrednosti, oziroma je privzeta iz ustreznega standarda. | O | 1 | Besedilo |
| 6.2.8.5 | Tematska natančnost | Tematska natančnost podaja pravilnost razvrščanja pojavov v pojavne tipe (prEN 287008 sec. 6.5). | O | 1 | Besedilo |
| 6.2.8.6 | Časovna natančnost | Časovna natančnost podaja aktualnost atributnih informacij (prEN 287008 sec. 6.5). | O | 1 | Besedilo |
| 6.2.9 | Asociacijski tip | | O | N | Struktura |
| 6.2.9.1 | Ime asociacijskega tipa | Ime asociacijskega tipa je oznaka, ki podaja tip odnosa oziroma povezave. | M2 | 1 | Besedilo |
| 6.2.9.2 | Opred. asoc. tipa | Opredelitev asociacijskega tipa Besedilovalno opisuje odnos, oziroma ga povezuje z ustrezno obstoječo standardno definicijo. | M2 | 1 | Besedilo |
| 6.2.9.3 | Od pojavnega tipa | Od pojavnega tipa določa vir asociacije. | M2 | 1 | Besedilo |
| 6.2.9.4 | Do pojavnega tipa | Do pojavnega tipa podaja cilj asociacije. | M2 | 1 | Besedilo |
| 6.2.9.5 | Kardinalnost | Kardinalnost podaja stopnjo asociacije. | M2 | 1 | Besedilo |
| 6.2.9.6 | Omejitev | Omejitev podaja pogojnost asociacije. | O | 1 | Besedilo |
| 6.2.9.7 | Tematska natančnost | Tematska natančnost podaja pravilnost razvrščanja pojavov v pojavne tipe (prEN 287008 sec. 6.5). | O | 1 | Besedilo |
| 6.2.9.8 | Logična usklajenost | Logična usklajenost podaja stopnjo strukturne celovitosti podatkovnega niza (prEN 287008 sec. 6.5). | O | 1 | Besedilo |
| 6.2.10 | Prostorske značilnosti | | M2 | 1 | Struktura |
| 6.2.10.1 | Geometrični gradnik | Geometrični gradnik podaja geometrično opredelitev pojava (prEN 12160 sec. 6.1). | M2 | 1 | Besedilo |
| 6.2.10.2 | Strukturni gradnik | Strukturni gradnik podaja strukturno (topološko) opredelitev pojava (prEN 12160 sec. 6.2). | M2 | 1 | Besedilo |
| 7. | Klasifikacija podatkovnega niza | | O | 1 | Struktura |
| 7.1. | Besednjak | | M1 | 1 | Struktura |
| 7.1.1 | Ime besednjaka | Ime besednjaka je naslov slovarja bodi si v obstoječem ali v uporabniško prirejenem standardu. | M1 | 1 | Besedilo |
| 7.1.2 | Upravljevec besednjaka | Upravljevec besednjaka je ime organizacije ali osebe, ki je odgovorna za vzdrževanje besednjaka. | M1 | 1 | Besedilo |
| 7.1.3 | Element besednjaka | | M1 | N | Struktura |
| 7.1.3.1 | Izraz | Izraz podaja naziv pojava na katerikoli pomenski stopnji. | M1 | 1 | Besedilo |

| | | | | | |
|---------|--|--|----|---|-----------|
| 7.1.3.2 | Definicija | Definicija opredeljuje pomen izraza. | M2 | 1 | Besedilo |
| 7.1.3.3 | Sinonim | Sinonim podaja enakovreden izraz. | M2 | 1 | Besedilo |
| 7.1.3.4 | Soroden izraz | Soroden izraz podaja zelo podoben izraz. | M2 | 1 | Besedilo |
| 7.1.3.5 | Širši izraz | Širši izraz podaja splošnejši hierarhičen pomen (denimo promet in vodni promet). | M1 | 1 | Besedilo |
| 7.1.3.6 | Ožji izraz | Ožji izraz podaja bolj specializiran hierarhičen pomen (denimo avtocesta kot vrsta ceste). | M1 | 1 | Besedilo |
| 7.1.3.7 | Slika | Slika prikazuje grafično ilustracijo izraza. | O | 1 | Slika |
| 8. | Administrativni metapodatki | | M1 | 1 | Struktura |
| 8.1. | Organizacija in vloga organizacije | | M1 | 1 | Struktura |
| 8.1.1 | Ime | Ime organizacije je naziv organizacije. | M1 | 1 | Besedilo |
| 8.1.2 | Okrajšano ime | Okrajšano ime organizacije. | M1 | 1 | Besedilo |
| 8.1.3 | Naslov | Naslov organizacije tvorijo poštni naslov, telefon, telefaks in elektronska pošta. | M1 | 1 | Besedilo |
| 8.1.4 | Vloga | Vloga podaja odgovornost organizacije glede na podatkovni niz (denimo: lastnik, proizvajalec, upravljavec ali distributor). | M1 | 1 | Besedilo |
| 8.1.5 | Alternativno ime | Alternativno ime organizacije je podano bodi si v istem ali nekem drugem jeziku. | O | 1 | Besedilo |
| 8.1.6 | Funkcija | Funkcija organizacije podaja opis celovite vloge organizacije. | O | 1 | Besedilo |
| 8.2. | Kontaktna oseba in vloga kontaktne osebe | | M1 | N | Struktura |
| 8.2.1 | Ime | Ime kontaktne osebe podaja naziv kontaktne osebe. | M1 | 1 | Besedilo |
| 8.2.2 | Naslov | Naslov kontaktne osebe podaja poštni naslov, telefon, telefaks in elektronska pošta kontaktne osebe. | M1 | 1 | Besedilo |
| 8.2.3 | Vloga | Vloga podaja odgovornosti kontaktne osebe v odnosu do podatkovnega niza (denimo: tehnični ali tržni upravljavec podatkovnega niza, avtor metapodatkov itd.). | M2 | 1 | Besedilo |
| 8.3. | Distribucija | | M1 | 1 | Struktura |
| 8.3.1 | Omejitve uporabe | Omejitve, ki poleg avtorskih pravic urejajo dostop in uporabo podatkovnega niza. | M2 | 1 | Besedilo |
| 8.3.2 | Avtorske pravice | Avtorske pravice določajo organizacijo, ki ima pravice nad podatkovnim nizom. | M2 | 1 | Besedilo |
| 8.3.3 | Informacije o ceni | Cenovna politika podaja informacije o dajatvah za podatkovni niz, kar vključuje ceno po enoti in možne popuste. | M2 | 1 | Besedilo |
| 8.3.4 | Distribucijska enota | Distribucijska enota določa geografsko ali tematsko delitev podatkovnega niza. | M2 | 1 | Besedilo |
| 8.3.5 | Medij | Medij podaja možne medije za posredovanje podatkovnega niza. | M1 | 1 | Besedilo |
| 8.3.6 | Format | Format podaja zapis, v katerem se lahko posreduje podatkovni niz. | M1 | 1 | Besedilo |
| 8.3.7 | Sproten dostop | Sproten dostop podaja načine za neposreden dostop do podatkovnega niza. | M1 | 1 | Besedilo |
| 8.3.8 | Naročilo | Naročilo podaja načine za naročilo proizvoda. | M2 | 1 | Besedilo |
| 8.3.9 | Servis za podporo | Servis za podporo podaja bodoče usluge za uporabnike podatkovnega niza. | M2 | 1 | Besedilo |
| 9. | Metapodatkovna referenca | | M1 | 1 | Struktura |

| | | | | | |
|------|-----------------------|--|----|---|-----------|
| 9.1 | Datum vnosa | Datum vnosa je datum sestave metapodatkov. | M1 | 1 | Datum |
| 9.2 | Datum zadnje kontrole | Datum zadnje kontrole je datum zadnjega pregleda veljavnosti metapodatkov. | M2 | 1 | Datum |
| 9.3 | Dat. zad. spremembe | Datum zadnje spremembe je datum zadnjega ažuriranja metapodatkov. | M2 | 1 | Datum |
| 9.4 | Dat. nasl. kontrole | Datum naslednje kontrole je pričakovani datum prihodnjega pregleda ali ažuriranja metapodatkov. | O | 1 | Datum |
| 9.5 | Prost. ref. metapod. | Prostorska referenca metapodatkov so opisne informacije o lokaciji geografskega obsega podatkovnega niza v prostoru. | O | 1 | Besedilo |
| 10. | Jezik metapodatka | | M1 | 1 | Struktura |
| 10.1 | Jezik metapodatka | Jezik metapodatka podaja jezik in kodno pisavo v katerem je napisan metapodatek. | M1 | 1 | Besedilo |

Kratka razlaga uporabljenih pojmov

| | |
|--------------|--|
| Id elementa | identifikator elementa metapodatka |
| Element | ime element metapodatka |
| Opis | kratka razlaga pomena elementa metapodatka |
| Omejitev | obveznost elementa metapodatka, kjer velja: M1 element je obvezen M2 element je priporočen (obvezen po CEN standardu) O element je opcijski |
| Kardinalnost | pojavnost elementa metapodatkov, kjer velja: 1 samostojen element N niz elementov |
| Tip | tip elementa metapodatka, kjer velja: Struktura element, ki vsebuje podelemente Besedilo Besediloovni element, ki podaja prosti opis Število številčni element, ki podaja realno število Datum element, ki podaja datum Področje element, ki z nizom koordinat podaja območje Slika element, ki podaja slikovni prikaz |

PROTOTIP DIGITALNO IZDELANE TEMELJNE DRŽAVNE KARTE V MERILU 1 : 5000

Dušan Petrovič in Mojca Kosmatin Fras
Inštitut za geodezijo in fotogrametrijo
Jamova cesta 2, Ljubljana
dusan.petrovic@institut-gf.uni-lj.si
mojca.fras@institut-gf.uni-lj.si

Izveleček

UDK 528.9:681.3.06

Temeljni topografski načrti v merilu 1 : 5000 in 1 : 10.000 so bogat vir prostorskih podatkov za različne uporabnike. Dosedanja klasična izdelava in vzdrževanje teh načrtov ne ustreza več sodobnim tehnološkim standardom in je tudi predraga. V prispevku bo opisana izdelava prototipa digitalno izdelane temeljne državne karte v merilu 1 : 5000 (v nadaljevanju TDK 5). Prototip je izdelal Inštitut za geodezijo in fotogrametrijo s podizvajalcem DFG Consulting d.o.o. po naročilu Geodetske uprave Republike Slovenije. Cilj projekta so bile cenejša in hitrejša izdelava in obnova karte ter nastavitve baze večje natančnosti z uporabo modernih tehnologij. V projektu smo iz več razlogov predlagali novo ime (prej temeljni topografski načrt – TTN 5, sedaj temeljna državna karta – TDK 5). Izdelali smo nov objektni katalog, nov kartografski ključ, novo izvenokvirno vsebino karte ter predlog pravilnika o državni kartografski projekciji in razdelitvi na liste. Tudi celostni zunanji izgled karte se precej razlikuje od dosedanjih temeljnih topografskih načrtov. Na enem listu karte smo preizkusili štiri različice virov in zajema podatkov in jih primerjalno ovrednotili glede na natančnost, stroške, hitrost izvedbe idr. Na osnovi izvedenih analiz smo izdelali predlog digitalne izdelave karte iz kombinacije različnih virov kot optimalno rešitev v okviru postavljenih ciljev. Po tem predlogu smo v celoti izdelali en list karte. Topografsko bazo smo izdelali in organizirali v skladu z objektnim katalogom. Projekt predstavlja pomemben dosežek, saj smo znotraj IGF dosegli uspešno in učinkovito sodelovanje med oddelki (strokami) in podizvajalcem na eni strani ter z naročnikom na drugi strani, ki se je aktivno vključeval v potek projekta.

Ključne besede: avtomatizirana kartografija, topografske karte velikih meril, digitalna izdelava kart

Abstract

UDK 528.9:681.3.06

*Prototype of digitally-produced basic national map 1 : 5000
Basic national maps on a scale of 1 : 5000 and 1 : 10.000 are a rich source of spatial data for different users. An analogue production and maintenance of these maps does not suit the modern technological standards any more and is too expensive as well. The procedure of producing a prototype of a digitally-produced basic national map (TDK 5 here after) on a scale of 1 : 5000 is described in the paper. The prototype was financed by the Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia, and produced by Institute of Geodesy, Cartography and Photogrammetry and DFG Consulting Ltd. as a subcontractor. The basic aim of the project is the cheaper and faster production and maintenance of national maps on a scale of 1 : 5000, and the establishment of a topographical database on a large scale using modern technologies. A new name for the map has been suggested for different reasons (before basic topographical map – TTN 5, new name basic national map – TDK 5). A new object catalogue, new marginal map information, and new regulations on national cartographic projections and map numbering have been suggested. The appearance of the map is different from the*

old maps as well. We have tested and made a comparative analysis of accuracy, costs, speed of production, etc. of four different methods. On the basis of these results, the most effective combination of the four methods has been proposed. We have produced one complete map sheet with the proposed technology. Topographical database was produced and organised in accordance with the object catalogue. This project is an important achievement because a co-operation between departments of IGF and subcontractor on the one hand, and the Surveying and Mapping Authority of RS on the other hand, was realised successfully.

Key words: automated cartography, topographical maps at large scale, digital production of maps

1. Uvod

Temeljni topografski načrti v merilih 1 : 5000 in 1 : 10.000 so, kot že ime samo pove, temeljni vir prostorskih topografskih podatkov, ki jih zagotavlja geodetska služba. Izdelani so enotno za vse območje Republike Slovenije in predstavljajo nepogrešljivo osnovo za gospodarjenje s prostorom. Uporabljajo se kot osnova za vodenje drugih geodetskih registrov in evidenc, planiranje v prostoru, projektiranje in graditev cest, daljnovodov, žičnic, regulacij, idr., in služijo kot osnovni kartografski material za izdelavo drugih kart v istih ali manjših merilih.

Začetek njihove izdelave sega v leto 1955, ko sta bila izdelana prva dva lista v merilu 1 : 5000 . Od takrat je bila njihova izdelava in nato vzdrževanje bolj ali manj kontinuirana. Danes je s karto TTN pokrito celotno ozemlje Slovenije, večinoma v merilu 1 : 5000 (2549 listov), neintenzivna območja pa v merilu 1 : 10.000 (260 listov), na nekaterih območjih pa so izdelani listi v obeh merilih.

Geodetska uprava Republike Slovenije v skladu s srednjeročnimi in letnimi programi naroča vzdrževanje listov. Reprodukcijski originali se še vedno izdelujejo s klasičnimi (analognimi) postopki. Digitalni podatki TTN 5 in 10 so v celoti izdelani v rastrski obliki (skeniranje vseh listov) po ločenih vsebinah.

Zelo pomembna je tudi evidenca zemljepisnih imen (EZI), ki vsebuje vsa imena stalnih objektov, ki imajo neko časovno, zgodovinsko, etnološko ali družbeno uveljavljeno identiteto ter so bolj ali manj trajno prisotna v okolju. Slovenija ima približno 200.000 zemljepisnih imen, ki se pojavljajo na različnih virih. Vzpostavitev EZI, zajete s TTN 5 in 10, poteka vzporedno z obnovo listov.

Dejstvo je, da dosedanje klasično vzdrževanje TTN ne ustreza več sodobnim tehnološkim standardom in je tudi predrago. V preteklosti je bilo že nekaj poskusov prehoda na novo tehnologijo, vendar so bile predlagane rešitve prezahtevne za operativno delo (npr. Projekt metodološko-tehnoloških rešitev nastavitve in vzdrževanja digitalne topografske baze; izvedena delna nastavitve z vektorizacijo obstoječih načrtov; projekt je praktično zastal).

Tehnologije, ki so razvojno navezane na stanje računalniške tehnologije, kar nedvomno velja tudi za fotogrametrijo, v zadnjih letih skokovito napredujejo. Kar je morda bilo še včeraj težko rešljivo, danes lahko elegantno in operativno izpeljemo. Tako je digitalno proizvodno linijo izdelave kart in polnjenja baz danes že možno izdelati precej bolj učinkovito in enostavno, kot je bilo to možno pred nekaj leti.

Konec leta 1997 je Inštitut za geodezijo in fotogrametrijo skupaj s podizvajalcem DFG Consulting d.o.o. po naročilu Geodetske uprave Republike Slovenije izdelal projekt

“Izdelava prototipne rešitve digitalno izdelane temeljne državne karte v merilu 1 : 5000”.

V prispevku bodo opisana izhodišča za izdelavo projekta, izvedba projekta in končni rezultati.

2. Izhodišča za izdelavo projekta

Pri izvedbi projekta smo upoštevali izhodišča in cilje, ki jih je definiral naročnik, in so naslednji:

- posodobitev in ožvitev obnove TTN 5,
- cenejša in hitrejša obnova TTN 5,
- nastavitev in vzdrževanje topografske baze večje natančnosti,
- povezava z registrom in katastrom zgradb,

Projekt smo izvedli na dveh listih TTN 5 v občini Metlika.

V projektu smo predlagali novo ime karte – temeljna državna karta v merilu 1 : 5000 (s kratico TDK 5) in ustrezno ime nove baze – temeljna državna baza natančnosti, ki ustreza merilu 1 : 5000 (s kratico TDB 5).

Razlogov za izbiro novega imena je več. Skladno s projektom izdelana karta je nova karta, ki se po vsebini in izgledu bistveno razlikuje od TTN. Ker zaradi obsežnosti dela TDK 5 ne bo izdelana naenkrat za celotno območje Slovenije, bodo istočasno na razpolago listi TTN in TDK 5 in različno ime bo pripomoglo k lažjemu ločevanju med njima.

TDK 5, tako kot dosedanja TTN 5, postaja osnovna (temeljna) karta največjega merila, ki sistemsko bolj ali manj celovito prekriva celotno področje Republike Slovenije. Zato ohranjamo pridevnik *temeljna*.

Zaradi odločitve o reducirani vsebini TDK 5 ne ustreza teoretičnim standardom topografskih kart merila 1 : 5000. Stopnja generalizacije TDK 5 je mnogo večja, kot bi teoretično smela biti za topografsko karto tako velikega merila. Zato opis *topografska* opuščamo. Namesto njega uvajamo pridevnik *državna*, s čimer TDK 5 navezujemo na ostale karte nastajajočega *državnega kartografskega sistema* (Državna topografska karta 1 : 25.000...).

Ime *načrt* se uveljavljeno uporablja za tehnične risbe, v kartografiji pa ni primeren. Zato ga nadomeščamo z imenom *karta*, kar se uporablja tudi pri ostalih elementih že omenjenega *državnega kartografskega sistema*.

3. Objektni katalog in kartografski ključ

Najprej smo izdelali *predlog objektnega kataloga*, ki smo ga usklajevali z naročnikom. Glede na postavljene cilje projekta je bilo nujno, da reduciramo objektni katalog. V objektnem katalogu smo ohranili vse objektne skupine kartografskega ključa TTN 5, in sicer: naselja, promet, vegetacijo, hidrografijo, relief, administrativne meje, zemljepisna imena, geodetske točke.

Tipe objektov smo združevali v skupine, npr. pri stavbah, cestah in vegetaciji. Reducirali smo število tipov objektov, npr. ni kozolcev, močvirij, skalovja, kamnolomov (prej skupno okrog 200 tipov, sedaj 24).

V testni fazi naročnik ni predvidel terenskega zajema, zato smo izpuščali objekte, ki jih ni možno zajeti brez terenske interpretacije, npr. spomenik, ograja, jama, slap, zajetje. Za objekte smo predvideli minimalno potrebno število atributov, tako npr. pri stavbah

nismo predvideli nobenih atributov.

Kartografski ključ za TDK 5 smo izdelali v skladu z načeli kartografskega oblikovanja in z upoštevanjem tehnoloških zmožnosti.

Oblikovna zasnova – predvsem barvno oblikovanje - je bistveno različna od TTN 5. S pretežno črtne risbe smo prešli na arealne prikaze. Razlog je bistveno manjša količina prikazanih objektov na TDK 5 v primerjavi s prikazom TTN 5. Zaradi manjše gostote bi karta delovala prazno. Več različnih barv smo uporabili tudi zaradi drugačne tehnologije izdelave. V času, ko so TTN še tiskali, so uporabljali črno, modro in rjavo barvo. V zadnjih letih pa izdelujejo le še združene pokalonske kopije in je vsa vsebina v eni barvi. TDK 5 bo vodena in izdelana z računalniško tehnologijo. Pri izrisu na tiskalnikih in risalnikih odpadejo omejitve števila barv, pa tudi v primeru morebitnega tiska je mogoče neposredno izdelati reprodukcijske originale za tisk v štirih osnovnih barvah. Hkrati barvna struktura karto poživi, izboljša njeno preglednost in s tem uporabnost, karta pa postane tudi prijaznejša za uporabnika.

Kartografski znaki so zaradi večjih možnosti variacij barve in svetlostne vrednosti oblikovno enostavnejši od kartografskih znakov na TTN 5. So bolj nazorni in asociativni, hkrati pa prirejani tehnološkim zmožnosti računalniške izdelave. Kjer je bilo to mogoče, smo uporabili za objekt stari znak.

Točkovni znaki so podobni znakom na TTN 5. S tem smo zagotovili enostavno razumevanje obeh kart (TTN 5 in TDK 5). Orientacija znakov je v večini primerov proti severu (izjema so vodni pojavi).

Linijski objekti so praviloma prikazani s pogojnim znakom, ki poleg položaja prikazuje tudi širino linijskega pojava. Na TTN 5 takšnih primerov ni bilo, saj so bili vsi linijski objekti s širino, ki presega ločljivost merila 1 : 5 000, prikazani tlorisno (ceste, vodotoki). Pri znakih za tovrstne linijske objekte smo uporabili širino, ki ustreza poprečni širini prikazanega objekta v naravi.

Ploskovni (arealni) objekti in pojavi so v ključu dosledno prikazani z barvnim polnilom ali z vzorcem. Barvno polnilo ali vzorec je asociativen in zato enostavno razumljiv tudi manj večšim uporabnikom.

Zemljepisna imena smo prikazali v skladu z rezultati projekta Pisave na slovenskih kartah.

Matematične elemente, medokvirno in izvenokvirno vsebina prikazujemo po vzoru DTK 25 z upoštevanjem specifičnosti karte TDK 5. Oblika in vsebina medokvirne ter izvenokvirne vsebine je razvidna iz vzorčnega lista Metlika-41.

Poleg kartografskega ključa za izdelavo lista karte smo pripravili tudi kartografski ključ TDK 5 v primeru prerisa prek digitalnega ortofoto načrta v merilu 1 : 5000 (DOF 5). V tem ključu so izpuščeni objekti, ki so neposredno vidni in ločljivi na DOF. Linijski objekti so prikazani s tanjšimi linijami, pri arealnih pa smo opustili barvna polnila. S tem smo zagotovili vidnost vsebine DOF. Zemljepisna imena izpisujemo brez sprememb.

4. Zajem podatkov po štirih metodah

V projektu smo primerjali več različnih metod in jih ovrednotiti glede na pozicijsko in atributno natančnost in hitrost oz. stroške. Za en list TTN 5 (Metlika-42) smo izvedli zajem po štirih metodah:

- a) Analitična fotogrametrična stereorestitucija

Fotogrametrija omogoča zajem izvornih podatkov s posnetkov. Stereorestitucija zagotavlja metrično pravilno zajete objekte in pojave s tremi koordinatami – položajem in višino. Stanje tako zajete baze ustreza stanju na terenu v trenutku snemanja. Metoda je strokovno neoporečna, tako pridobljeno bazo pa je poleg prikaza v obliki TDK 5 mogoče uporabiti za mnoge druge namene (tridimenzionalni prikazi, modeliranje pokrajine, profili prometnic). Glavna omejitev metode je časovna obsežnost in otežena interpretacija objektov v z gosto vegetacijo pokritih področjih.

b) Obdelava obstoječih kartometrično zajetih baz

Za izdelavo osnovne državne karte teoretično praviloma ne bi smeli uporabiti podatkov, pridobljenih iz kart manjšega merila. Vendar sta dve izmed uvodnih izhodišč, želja po bistvenem znižanju stroškov izdelave ter znatno prečiščen objektni katalog dopuščali tudi enostavno in finančno ugodno možnost. Z vključitvijo najrazličnejših razpoložljivih baz o objektih, ki smo jih opredelili v objektnem katalogu, smo skušali ugotoviti ustreznost in smiselnost vključitve vsake posamezne baze. Zaradi različnih skrbnikov, vzpostavljalcev, oblik hranjenja smo opravili mnogo pretvorb in uskladitev. Izkazalo se je, da so nekatere obstoječe baze uporabne in primerne zlasti kot vir atributnih podatkov. Zaradi bistvenega zmanjšanja stroškov pa lahko nekatere objekte celo neposredno uporabimo, vendar se moramo zavedati, kakšna je njihova položajna natančnost.

c) Zajem po navodilih projekta Digitalna topografska baza

Pred leti je bil izdelan projekt zajema digitalne topografske baze, ki je predvideval celovito vektorizacijo vsebine TTN 5. Seveda bi bila uporaba teh podatkov zelo primerna, saj bi bilo potrebno le izločiti ali združiti v TDK 5 neobstoječe objektno skupine in objekte. Vendar je bila žal DTB zajeta le na zelo majhnem deležu ozemlja Slovenije. Zato smo se odločili za vektorizacijo ustreznega lista TTN 5 po navodilih projekta DTB, vendar le tistih objektov, ki so vsebovani v objektnem katalogu TDK 5. Srečali smo se s problemom starosti in neažurnosti vira (lista TTN 5), poleg tega pa je bil zajem nekaterih objektov izjemno zamuden. Vsekakor pa pri objektih, ki se časovno ne spreminjajo mnogo in katerih zajem ni preveč zamuden, ne smemo prezreti te možnosti. Dodatna prednost je ustrezna generalizacija vsebine ter izredno bogat objektni katalog TTN.

d) Zajem in digitalnega ortofota v merilu 1 : 5000

Tudi pri tej metodi smo vsebino baze zajemali iz izvornega vira – aero posnetkov. Bistvena razlika v podatkih je, da pri zajemu z DOF izgubimo podatek o višini. Zaradi tega je zajem bistveno hitrejši, podatki o položaju visokih objektov pa radialno zamaknjeni. Poleg hitrosti izvedbe je prednost tudi ažurnost vira, slabost pa problemi interpretacije v zaraščenih območjih.

5. Primerjava metod zajema

Izdelali smo predhodno (a priori) oceno natančnosti vsake posamezne metode. Natančnost podatkov, ki smo jih po vsaki izmed metod dobili v okviru tega projekta, smo nato še primerjalno ocenili. Kot pozicijsko pravilne smo vzeli podatke stereofotogrametričnega izvedenja. Ker je bila ocena izvedena na precej majhnem vzorcu, le-ta ni zanesljiva in splošna. Realnejšo oceno bi dobili s primerjavo podatkov s podatki terenskih meritev,

kar v okviru ciljev projekta ni bilo predvideno niti izvedljivo (kratek rok, majhna finančna sredstva). Kljub temu pa smo dobili približne, orientacijske vrednosti odstopanj, ki potrjujejo naše teoretične predpostavke.

Podatki, zajeti z DOF, se v primerjavi s podatki stereofotogrametričnega izvrednotenja v ažurnosti ne razlikujejo. Položajne razlike so opazne pri vseh objektih, ki imajo znatno višino, kar je posebej opazno pri zgradbah. Nekoliko slabša je tudi možnost interpretacije, zato je količina zajetih objektov za spoznanje manjša.

Podatki, vektorizirani v skladu s projektom DTB, so pozicijski primerljivi podatkom stereofotogrametričnega izvrednotenja, kar je razumljivo, saj je bila osnovna metoda izdelave TTN fotogrametrična. Ni težav z interpretacijo in vidnostjo v visoko poraščenih območjih, zato so zajeti tudi objekti, ki jih v primerjalni bazi ne. Poglavitni problem pa je ažurnost stanja in logična usklajenost tako zajete baze.

Največja nesoglasja s primerjalnimi podatki so se pojavila pri primerjavi z bazo, sestavljeno iz razpoložljivih obstoječih baz. Zaradi različnih virov in metod zajema so posamezne baze med seboj povsem neusklajene. Vsebina GKB je generalizirana z bistveno višjo stopnjo, podatki DKN se razhajajo na mejah katastrskih občin, pri zgradbah je v nasprotju z vsemi fotogrametrično zajetimi podatki namesto obrisa strehe zajet obris temeljev.

6. Predlog optimalne kombinacije metod

Kombinirana metoda zajema izbranih podatkov, ki so bili v delovni obliki "Objektnega kataloga" predlagani naročniku v potrditev ter po uskladitvah in dopolnitvah tudi potrjeni z njegove strani, pomeni po našem mnenju v tem trenutku optimalno rešitev za Projekt digitalne izdelave Temeljne državne karte v merilu 1 : 5000.

Z vključitvijo dodatnih terenskih meritev in opazovanj bi bili končni rezultati zajema podatkov seveda še kvalitetnejši - tako po vsebini kot po natančnosti. Izhodiščni pogoji v projektu tega na žalost niso dopuščali. Zato smo se v primeru prvega testnega lista (Metlika 42) odločili za štiri vzporedne in med seboj popolnoma neodvisne načine zajema vseh podatkov po objektnem katalogu.

Na osnovi predhodno določenih topoloških oblik ter enotnega kriterija zajema za vsak objekt posebej smo dobili štiri rešitve, ki pa so se od objekta do objekta razlikovale med seboj. V določenih primerih izbran način ni omogočal zajema objekta (ni objekta v bazi, objekta se ne da razpoznati, ...) in ni dal uporabne rešitve.

Po primerjavi vseh rezultatov smo se v primeru drugega testnega lista (Metlika 41) odločili za uporabo le najbolj optimalnega načina zajema podatkov za skupino objektov ali za posamičen objekt. Tak koncept kombinirane metode je opisan v nadaljevanju.

6.1. Skupina - geodetske točke

Za vse skupine geodetskih točk (položajne, višinske, gravimetrične in ostale) smo uporabili podatke iz Baze geodetskih točk, za vzdrževanje katere skrbi Geodetska uprava Republike Slovenije. S tem je bilo tudi teoretično za vsakega od štirih načinov zajema dano enako izhodišče. Do praktičnega, vendar ne dovolj natančnega in nepopolnega zajema koordinat geodetskih točk bi lahko prišlo le po 3. metodi. Zaradi direktnega privzema podatkov iz baze je odločitev o izbiri načina zajema brezpredmetna.

6.2. Skupina - naselja

Objekte te skupine smo skoraj v celoti zajeli z analitično metodo, ki je dala najboljše rezultate glede stavb, komunalnih površin, športnih površin, razdelilnih transformatorskih postaj in stolpov. Zajem oboda strehe objekta iz stereo modela je bil najbolj natančen posnetek stanja na terenu. Vsi obodi streh iz DOF-a so bili zaradi narave dela radialno zamaknjeni in pozicijsko manj točni, pri zajemu komunalnih in športnih površin z DOF-a pa se je pojavil problem interpretacije površine. Vektorizirani podatki, zajeti po Projektu DTB 5, niso bili popolni, saj je bilo na skenogramu pred leti obnovljenega TTN 5 prikazano staro stanje. Izločili smo tudi uporabo podatkov o tlorisu stavb in komunalnih površin iz drugih baz (DKN), saj stanje ni bilo popolno, poleg tega pa je preveč odstopalo tako po površini kot po položaju. Podatke o prostostoječih stolpih je mogoče pridobiti le z analitično fotogrametrično metodo.

Izjema velja le za zajem podatkov o električnih vodih in daljnovodnih stebrih. Na izdelanih listih se vodi visoke napetosti ne nahajajo, pri zajemu s TTN smo vsebino napačno interpretirali. Vendar smo ocenili, da bi ažurne in povsem zadovoljljive rezultate dosegli pri zajemu iz DOF.

6.3. Skupina - promet

S pomočjo privzema podatkov o cestah iz baze Direkcije Republike Slovenije za ceste smo v danih pogojih pridobili uradne in dovolj homogene podatke o kategoriziranih državnih cestah. Položajno Dodatno smo bazo dopolnili še z osmi nekategoriziranih cest in kolovozov, ki smo jih uspeli zajeti iz prikaza novega stanja na DOF-u. Vektorizacija iz TTN 5 je odpadla zaradi nepopolnih podatkov. Analitično metodo zajema smo izločili zato, ker bi bil tak način dela časovno dolgotrajen (potrebno višinsko sledenje objektu) in s tem neprimerno dražji, rezultati pa niso bistveno boljši. V vsakem primeru se pojavlja velik problem cest in kolovozov v zaraščenih površinah.

Generalizirana kartografska baza (GKB 25) za železniške proge je že vzpostavljena za celotno območje Slovenije. Zaradi homogenosti in popolnosti podatkov smo se odločili za privzem teh podatkov.

Prometne objekte na cestnih in železniških komunikacijah smo zajeli z analitično metodo, saj je bil zaradi dobre vidnosti začetne oz. končne točke mostu ali predora (vhoda vanj) omogočen najbolj kvaliteten zajem. V kombinaciji z obstoječo gradbeno dokumentacijo je pogojno možno uporabiti tudi druge baze. Zadnji dve metodi sta dali neažurne in nepopolne podatke.

Tudi žičnic na izdelanih listih ni bilo. Po predvidevanjih bi podatke o žičniških napravah prevzeli iz generalizirane kartografske baze (GKB 25), ki vsebuje te objekte. Kljub redkim spremembam v naravi je stanje na skenogramih TTN 5 nepopolno, vidnost osi žičnic iz aeroposnetkov ali s pomočjo DOF-a pa je zelo nezanesljiva.

Iz praktičnih razlogov (hitrejši zajem, manjši stroški, tudi že zajem cest) smo se odločili, da vse ostale prometne površine, skupaj s cestami, zajamemo iz DOF-a. Ostale tri metode bi bile časovno zamudnejše, podatki o tlorisih teh površin iz Digitalnega katastrskega načrta (DKN) pa vprašljivi glede natančnosti in popolnosti. Dodatno pa smo morali s pomočjo pregleda TTN 5 in DTK 25 povezati cestne odseke, ki v gozdu na DOF-u niso bili vidni.

6.4. Skupina - vegetacija

Podatki o rabi tal v topografskih načrtih so zajeti in interpretirani precej subjektivno (različno določenih gozdnih mej), kar odpira vprašanje uporabnosti takih informacij. Zato bi bil tudi natančen analitičen način zajema težko opravičljiv glede časa in stroškov. Z vektorizacijo TTN 5 bi zajeli zastarele podatke. Glede na to smo obode površin s posameznimi vrstami rabe zajeli iz DOF-a in delovni proces združili z zajemom zgoraj naštetih objektov.

6.5. Skupina - hidrografija

To je edina skupina objektov, pri kateri smo se odločili, da damo prednost zajemu podatkov v skladu s projektom DTB 5. Na to so nas navedli različni vzroki. Hidrografska vsebina v topografskem načrtu se situacijsko relativno malo spreminja s časom v primerjavi s stavbami ali novimi cestami. To pomeni, da so tudi starejši listi TTN 5 še vedno dovolj aktualni in podrobni (zelo malo sprememb ob t. i. reambulacijah). Vsi objekti so prikazani ločeno od ostale vsebine na svojem skenogramu. Tudi attribute je možno enostavno prepoznati že s karte. Tako pri analitični metodi kot pri DOF-u bi bili zaradi pogoste zaraščenosti bregov podatki nepopolni, izvirov in ponorov sploh ni možno zajeti, za atributiranje pa bi nujno rabili še obstoječo karto. Zato smo vse objekte vektorizirali iz skenogramov TTN 5. Samo v primeru večjih sprememb v naravi predvidevamo možnost dopolnitve iz DOF-a.

6.6. Skupina - relief

Relief bi lahko pri vsakem izmed štirih virov zajeli na popolnoma različen način. Zajemu reliefa z analitično metodo smo se odpovedali že v pripravi, saj bi bila metoda izjemno dolgotrajna in draga (izkušnje pri projektu Prototipi izdelave topografskih kart).

Tudi zajem reliefa iz DTB (vektorizacija TTN) je zelo zamuden in drag, plastnice pa so pogosto prekinjene zaradi nasipov, stavb, cest in njihovo spajanje bi terjalo vsaj še enkrat toliko časa kot zajem. Poleg tega je zaradi siceršnje reducirane vsebine TDK 5 glede na TTN 5 gostota plastnic in kot prevelika. Pojavil se bi še problem neenakomerne ekvidistance (10 m na listih, izdelanih v merilu 1 : 10.000 in na območjih izven meja Slovenije). Sicer ne povsem dokazanimi trditvami je prikaz reliefa na mnogih TTN 5, predvsem na pogozdenem terenu, dokaj nenatančen in tudi napačen, saj je zajet izključno s fotogrametričnim izvednotenjem aeroposnetkov.

Pri konstrukciji plastnic iz DMR 40 kot stranskega produkta DOF 5 lahko opazimo kar nekaj pomanjkljivosti (nenaravne terenske oblike, potok teče po pobočju...). Z vključitvijo kot, vektoriziranih s TTN 5, smo nameravali DMR 40 izboljšati, pa se je pokazalo (na listu, sicer izdelanem z analitično fotogrametrično metodo), da je DMR 40 previsok za 2 do 20 m in so tako na vseh položajih kot s TTN nastale vrtače.

Pri zajemu vsebine iz baz smo uporabili relief GKB 25, torej relief DTK 25. Glavna pomanjkljivost je nepopolnost prikaza reliefa. V bazi so vsebovane le plastnice, manjkajo pa kote, padnice in oznake depresij, ki bi bile nujne za celovit prikaz reliefa. Plastnice so prekinjene na cestah in vodah, vendar povezovanje terja le kratkotrajen poseg. Glavne prednosti pa so homogena že obstoječa baza za celotno področje Slovenije. Razen večjih posegov (akumulacije, kamnolomi, avtoceste) se relief ne spreminja. Zanesljiva pa je natančnost, saj je bil relief na TK 25 kartiran na osnovi terenskih meritev.

Zato smo se kot optimalno metodo odločili za privzem plastnic iz GKB, jih povezali,

| objekt | Analit.zajem. | Zajem iz baz | DTB – TTN | DOF 5 | opomba |
|---|---------------------|-------------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------|
| GEODETSKA TOČKA | Baza geod. točk | Baza geod. točk | Baza geod. točk | Baza geod. točk | |
| STAVBA | + | DKN | + | + | |
| KOMUNALNA POVRŠINA | + | DKN | + | + | |
| SPORTNA POVRŠINA | + | DKN | + | - | |
| ELEKTRIČNI VOD S STEBRI | - | - | + | - | na listih se ni pojavilo |
| RAZDELILNA (TRANSFORMATORSKA) POSTAJA | - | - | - | - | na listih se ni pojavilo |
| PROSTOSTOJEČI STOLP | + | - | - | - | |
| CESTA | + | DKN GKB 25 Baza državnih cest | + | + | |
| ŽELEZNIŠKA PROGA | + | GKB 25 | + | + | |
| ŽIČNICA | - | GKB 25 | - | - | na listih se ni pojavilo |
| DRUGA PROMETNA POVRŠINA | + | DKN | + | + | |
| RABA TAL | + | DKN | + | + | |
| MORSKA OBALA | - | GKB 25 | - | - | na listih se ni pojavilo |
| STOJEČA VODA | + | DKN | + | + dopolnitve | |
| VODOTOK (NARAVNI ALI <BODY TEXT>UMETNI) | + | GKB 25 | + | + dopolnitve | |
| REČNA OBALA | + | DKN | + | + dopolnitve | |
| VODNI POJAV | - | GKB 25 | + | - | |
| DIGITALNI MODEL RELIEFA | - | - | - | + | vedno kot stranski produkt DOF |
| KOTA | - | - | + | - | potreben dodaten zajem |
| PLASTNICA | - | GKB 25 | + | - | |
| PADNICA | - | - | - | - | potreben dodaten zajem |
| OZNAKA DEPRESIJE | - | - | - | - | potreben dodaten zajem |
| DRŽAVNA MEJA | Pod. o državni meji | Pod. o državni meji | Pod. o državni meji | Pod. o državni meji | |
| ZEMLJEPIŠNO IME | EZI 5 | EZI 5 | EZI 5 | EZI 5 | |

Preglednica 1: Vir zajema za posamezen objekt v primeru lista Metlika-41 (osenčeno): + zajem smo izvedli, - zajema ni bilo.

dotatno pa smo s TK 25 zajeli kote, padnice in oznake depresij.

6.7 Skupina - administrativne meje

Teoretično je treba za državno mejo privzeti in neposredno uporabiti vse podatke iz Registra prostorskih enot (RPE) oziroma iz baze podatkov o mejnikih državne meje, za vzdrževanje katerih je pristojna Geodetska uprava Republike Slovenije. Pri obeh testnih listov sicer ni bilo zajema tovrstnih podatkov, ker ni šlo za mejna lista.

6.8 Skupina - zemljepisna imena

Za vse skupine zemljepisnih imen (toponime, hidronime, oronime in horonime) smo neposredno uporabili podatke iz Registra evidence zemljepisnih imen (REZI), za vzdrževanje katerega skrbi Geodetska uprava Republike Slovenije. Podobno kot za objekte 1. skupine je bila tudi tu odločitev o izbiri enega od štirih načinov zajema nepotrebna, saj smo privzeli obstoječa zemljepisna imena neposredno iz registra. Spremembe se pojavljajo le pri tipu in velikosti napisa, ki je usklajen z rezultati projekta Pisave na slovenskih kartah.

7. Sklep

Menimo, da smo s predstavljeno rešitvijo uspeli uskladiti željo po hitri in ne predragi rešitvi ter hkrati skušali ohraniti dosedanje uporabnost TTN 5 in jo hkrati še razširiti (povezava s katastrom zgradb). Celotna vzpostavitev TDK 5 je izvedljiva v nekaj letih. Vzdrževanje bi potekalo z zajemom podatkov stereofotogrametričnega izvednotenja ter interpretacije DOF. Ob uporabi ustreznega merila snemanja in uskladitvi posameznih projektov državnega kartografskega sistema bi bilo mogoče z enim fotogrametričnim zajemom vzdrževati celoten sistem državnih kart in drugih evidenc (na primer vzdrževanje TDK 5, DTK 25 in katastra stavb). Končni izdelek nudi številne možnosti uporabe. Topološko urejena baza je uporabna za različne prostorske analize. Struktura posameznih objektov omogoča enostavno kartografsko modeliranje in s tem hitro izdelavo lista TDK 5. Sliko je mogoče enostavno zapisati v rastrski obliki in lahko služi kot podlaga v geoinformacijskih sistemih. Z uporabo nekoliko prirejenega kartografskega ključa lahko prikažemo vsebino baze kot preris prek DOF. Končno baza omogoča povezljivost z drugimi evidencami, ki vsebujejo enake objekte: register in kataster stavb, topografska baza merila 1 : 25.000, baze ustreznih služb (hidrologi, cestarji), kjer bi upravljavec skrbel le za atributne podatke in podobno.

Pred začetkom vzpostavitve TDK 5 bi bilo smiselno izvesti še nekaj korakov. Najprej bi potrebovali odziv uporabnikov TDK 5 (sedaj TTN) na predlog objektnega kataloga. Tega bi nato ustrezno dopolnili in popravili. Ker bo baza enotna in bo kontinuirano pokrivala celotno ozemlje Slovenije, je mogoče izdelati drugačno razdelitev na liste. Možna, vendar v tem merilu najbrž nepotrebna, je tudi sprememba projekcije. Bistven problem je uskladitev zajema podatkov z zajemom drugih podatkovnih baz, kar pomeni prenovo projekta CAS, izvedba enkratnega stereofotogrametričnega izvednotenja. V primeru uskladitve zajemov bi lahko tudi pri zajemu TDB vključili terenski zajem. Na podlagi vseh omenjenih uskladitev in rešitev je potrebno izdelati določeno število testnih listov na geografsko raznolikih področjih Slovenije.

PROJEKT VZPOSTAVITVE, POLNJENJA IN VZDRŽEVANJA DIGITALNE TOPOGRAFSKE BAZE VELIKIH MERIL (NA PRIMERU MESTNE OBČINE LJUBLJANA)

Irena Benedik
Geodetski zavod Slovenije d.d.
Zemljemerska 12, Ljubljana

Izvleček

UDK 91:681.3(497.14 Ljubljana)

Predstavljena je digitalna topografska baza mesta Ljubljane, zajemana iz temeljnih topografskih načrtov velikih meril (1 : 500 in 1 : 1000). Digitalizacijo topografskih načrtov izvaja po naročilu Mestne občine Ljubljana (Mestna uprava, Oddelek za stavbna zemljišča) več geodetskih delovnih organizacij. Združevanje sosednjih območij, opravljanje topoloških kontrol, vzdrževanje enotne baze kot tudi izdajanje podatkov izvaja Geodetski zavod Slovenije po pooblastilu naročnika.

Ključne besede: digitalna topografska baza, metapodatki, Arc/Info, topografski načrti

Abstract

UDC 91:681.3(497.14 Ljubljana)

Project to the setting up acquisition and administration on the digital topographic database (example: city municipality of Ljubljana)

The article presents the digital topographic database for the territory of city Ljubljana, which is created by digitalization of topographic plans 1 : 500 and 1 : 1000. Many institutions were involved in the project of digitalization. This database is gathered and updated in Arc/Info environment by Geodetski zavod Slovenije.

Keywords: digital topographic database, metadata, Arc/Info, topographic plans

1. Uvod

Konec l. 1993 je Geodetski zavod Slovenije po naročilu Mesta Ljubljane izdelal nalogo *Vzdrževanje topografskih načrtov velikih meril (1 : 500 do 1 : 1000) in njihova pretvorba v digitalno obliko kot topografsko osnovo za prostorske informacijske sisteme*. Naloga, v okviru katere se je poskusno digitaliziralo manjše število TTN 1 : 500 in 1 : 1000 na območju Mestne občine Ljubljana, je postavila standarde pri postopku digitalizacije topografskih načrtov velikih meril.

Logično nadaljevanje zgornje naloge je bila vzpostavitev enotne digitalne topografske baze velikih meril mesta Ljubljane. V ta namen se je v letih 1994, 95 in 96 klasično reambuliralo in nato digitaliziralo večino listov 1 : 500 in 1 : 1000 za območje strnjene pozidave ljubljanske občine. Zaradi same zahtevnosti projekta (ki še ni končan) ga izvaja več geodetskih organizacij. Predmet oddaje je v skladu z navodili digitalizirana vsebina določenega območja, razdeljena na območja listov obstoječih analognih načrtov. Navodila opredeljujejo tako strukturo podatkov kot tudi elemente, ki jamčijo določeno stopnjo metrične kvalitete. Topološko kontrolo, združevanje sosednjih območij in vzdrževanje enotne baze kot tudi izdajanje podatkov po pooblastilu naročnika izvaja Geodetski zavod Slovenije. Izvajalci digitalizacije oddajajo svoje rezultate v AutoCAD-ovem DWG in DXF formatu, enotna baza pa je organizirana v Arc/INFO okolju (GZS 1996).

Slika 1: Pregledni izris digitalne topografske baze velikih meril Mestne občine Ljubljana.



Slika 1: Pregledni izris digitalne topografske baze velikih meril Mestne občine Ljubljana.

2. Vsebina in struktura baze podatkov

Baza je organizirana v GIS okolju programa Arc/Info (verzija 7.0.3). Zajema celotno vsebino analognega topografskega načrta, vključno z notranjim opisom. Zaradi narave Arc/Info orodja, ki strogo loči med ploskovno, linijsko in točkovno topologijo, je baza vsebinsko razdeljena na šest slojev:

- točkovni sloj (točkovna topologija),
- linijski sloj (linijska topologija),
- ploskovni sloj (ploskovna topologija),
- višinske kote (točkovna topologija),
- plastnice (linijska topologija),
- notranji opis (točkovna topologija).

Točkovni sloj zajema vse elemente topografske vsebine, ki jih na načrtu interpretiramo kot točkovne objekte (jaški, stebri, luči, hidranti, geodetske točke itd.), z izjemo višinskih kot, katerim je namenjen poseben sloj.



Slika 2: Položajno prekrivanje baze in digitalnega ortofoto posnetka na primeru ploskovnega sloja.

Linjski sloj vsebuje linijske objekte na načrtu (z izjemo plastnic). Sem spadajo ograje, železniški tiri, vodotoki, prikazani z linijo itd.

V ploskovnem sloju so zajeti vsi elementi topografske vsebine, ki imajo obliko zaključenega poligona, kot npr. vse vrste stavb, dvorišča, parkirišča, ceste, njive, travniki, idr.

Višinske kote zavzemajo lasten sloj v bazi, prav tako plastnice, prve interpretiramo kot točkovne in druge kot linijske objekte.

Notranji opis vsebuje imena ulic, hišne številke, oštevilčbe geodetskih točk, opise zgradb itd. Definirana sta velikost in naklon pisave.

Območje razširjenosti baze je razvidno iz slike 1, slika 2 pa prikazuje, kako se položajno ujemata baza in digitalni ortofoto posnetek na primeru ploskovnega sloja.

Vsak od zgoraj opisanih slojev je voden kot lasten osnovni informacijski sloj (cover) v Arc/Infu.

V bazi sta poleg slojev s topografsko vsebino za nas zanimiva še dva sloja; METALISTI in REAM. V prvem so zbrani metapodatki, ki se nanašajo na osnovno enoto zajemanja podatkov, tj. detajlni list TTN 1 : 500 (preglednica 1). Poleg internih (površina, obseg, interni in uporabniški identifikator detajlnega lista) so podani še atributi:

- list (uporabniška nomenklatura lista),
- nomen (uradna nomenklatura lista),
- območje (območje digitalizacije, kamor pade list),
- merilo (merilo lista),

| | | |
|--------------|---|-------------------------|
| AREA | = | 93750.00000 |
| PERIMETER | = | 1250.00000 |
| METALISTI# | = | 1412 |
| METALISTI-ID | = | 1452 |
| LIST | = | e244401a |
| NOMEN | = | 5E 24-LJUBLJANA-S-44-1A |
| OBMOCJE | = | 17 |
| MERILO | = | 500 |
| DATUM | = | 12/31/1992 |
| MATERIAL | = | F |
| ZAJEM | = | GZMAR |
| KONTROLA | = | LUZDD |
| DAT_KONT | = | 05/28/1997 |
| POGODBA | = | 2629/94-BC |
| ROK | = | 04/18/1994 |
| ODDAJA | = | 06/14/1994 |
| OPOMBE | = | |

Preglednica 1: Primer izpisa vrstice iz sloja METALISTI.

- datum (datum izdelave lista),
- material (iz kakšnega materiala je narejen list; folija itd.),
- zajem (kdo in kdaj je zajemal list),
- kontrola (kdo je opravljal vsebinsko kontrolo zajema lista),
- dat_kont (datum opravljanja kontrole),
- pogodba (št. pogodbe o digitalizaciji območja, kamor pade list),
- rok (rok oddaje delovišča),
- oddaja (datum oddaje delovišča),
- opombe.

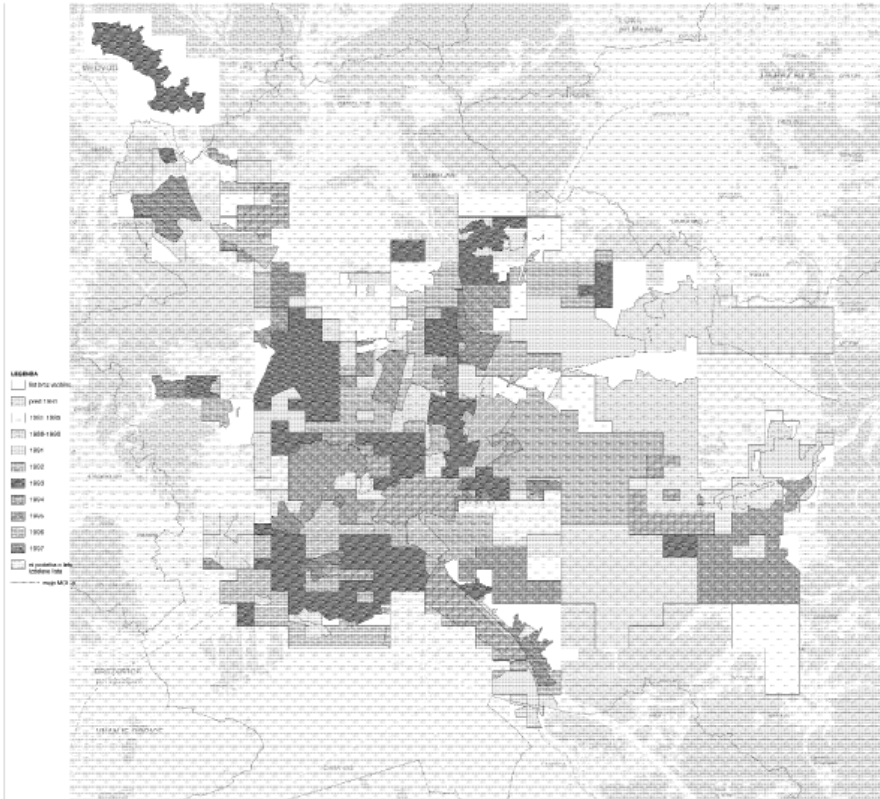
Sloj REAM ima značaj časovne komponente. Vsebuje digitalizirana oz. reambulirana območja sosednjih detajlnih listov istega leta izdelave (slika 3).

3. Zajem podatkov

Možna sta dva načina polnjenja baze; digitalizacija obstoječih geodetskih načrtov, kjer pa le ti niso odprti oz. so vprašljive kakovosti (starejši datum izdelave lista), pride v poštev terenska izmera. Podrobneje bo opisan prvi način.

3.1. Digitalizacija

Orodje za zajem ni predpisano. Omogočati mora zajem v predpisani strukturi in s predpisano ločljivostjo. Digitalizacija lahko poteka preko digitalne mize ali z ročno vektorizacijo skeniranih načrtov. Struktura podatkov ob zajemu je prilagojena pri nas



Slika 3: Grafični prikaz vsebine sloja REAM.

najbolj razširjenemu orodju za digitalizacijo; tj. AutoCad-u. Izvajalec digitalizacije prejme objektni katalog s šiframi točkovnih, linijskih in ploskovnih elementov. S slednjimi opremi vsak zajet element iz načrta. Imena slojev v DWG sliki so predpisana; tako je možno takoj vzpostaviti topografsko bazo. Elaborat zajema vsebuje rezultate digitalizacije (DXF datoteka) in zapisnik, tj. spremno datoteko v ASCII zapisu. Organizacija zajema podatkov je predstavljena na sliki 4.

4. Polnjenje (nastavitev) baze

Vsi postopki v zvezi z bazo, od njenega polnjenja, topološkega čiščenja, pregledovanja, ažuriranja, prikazovanja in izdajanja podatkov, so avtomatizirani. Izdelana je programska oprema v makro jeziku AML. Vsi programski moduli so dosegljivi preko uporabniških menijev in delujejo na delovni postaji Silicon Graphics.

Elaborat digitalizacije (lokacijski in atributni oz. metapodatki) predstavljajo lokalno topografsko bazo območja enega ali večih listov 1 : 500; v slednjem primeru je potrebno obvezno uskladiti veze med listi – v situacijskem in vsebinskem smislu. Zajete liste se transformira v državni koordinatni sistem. V DXF formatu zapisano sliko pretvorimo v šest Arc/Infovih slojev; za vsak sloj se izvede topološka kontrola



Slika 4: Diagram organizacije zajema podatkov.

– generira se zapisnik odkritih napak in skica z njihovimi lokacijami. Logične kontrole po slojih so npr.:

- točke: poišče elemente z nesmiselnimi šiframi,
- linije: poišče elemente z nesmiselnimi šiframi,
- ploskve: poišče topološke napake (viseča vozlišča, nezaprta poligoni, poligoni brez oz. z več kot enim centroidom), poišče elemente z nesmiselnimi šiframi,

- kote: poišče elemente s sumljivimi višinami (za območje mesta Ljubljane manjše od 250 m ali večje od 600 m),
- plastnice: poišče elemente s sumljivimi višinami (manjše od 250 m ali večje od 600 m).

5. Vzdrževanje baze

Baza se vzdržuje po območjih sistemskih listov 1 : 500. Izvajalec reambulacije prejme od vzdrževalca (skrbnika) baze:

- objektni katalog s šiframi točkovnih, linijskih in ploskovnih elementov,
- izsek iz baze za območje zajema, ki vključuje nekoliko večji del od razpisanega, zaradi uskladitve stikov. (Format izmenjave izseka iz baze je ali izvozni format Arc/Infra ali dvanajst ASCII datotek - šest datotek lokacijskih podatkov in šest datotek atributnih podatkov),
- pregledni izris iz baze.

Izvajalec reambulacije vnaša nove lokacijske podatke numerično, na podlagi terenskih meritev. Reambulirani podatki morajo biti vsebinsko kontrolirani in topološko čisti. Take podatke izroči vzdrževalcu baze, skupaj z zapisnikom reambulacije.

6. Izdajanje podatkov iz baze

Prostorska enota za izdajo podatkov je list topografskega načrta merila 1 : 500.

6.1. Formati izdajanja podatkov

Standardni format izhodnih podatkov so ASCII datoteke lokacijskih in atributnih podatkov za posamezne sloje, možen je tudi Arc/Infov izmenjevalni format (E00 datoteke).

6.2. Koordinatni sistemi

Podatki se načelno predajajo v G.-K. koordinatnem sistemu brez vodilnih petic. Zaradi omejitev natančnosti računanja z realnimi števili pri nekaterih GIS in CAD orodjih (tipičen primer je Arc/Info za DOS okolje) je bil uveden tudi standardizirani lokalni koordinatni sistem mesta Ljubljane.

Izhodišče lokalnega koordinatnega sistema je: točka yGK = 400.000, točka xGK = 50.000.

7. Cenovna politika

Zaenkrat so podatki javni in brezplačni. Izdajajo se na podlagi dovoljenja naročnika baze. Uporabnik plača samo stroške prepisa podatkov. Glede na to, da je vzdrževanje kakovostne in dostopne topografske baze draga služba in da ti podatki ne morejo služiti izključno neprofitnim organizacijam in službam, menimo, da bi bilo treba obstoječo politiko obračunavanja podatkov spremeniti.

8. Sklep

Do leta 1996 je bilo klasično reambuliranih in nato digitaliziranih večina listov 1 : 500 in 1 : 1000 za območje strnjene pozidave ljubljanske občine. Ocenjujemo, da je zajetih približno 85 % vseh detajlnih listov TTN 1 : 500 in 1 : 1000, ki se vodijo na območju

Mestne občine Ljubljana.

Nadaljnji trendi v zvezi z vzdrževanjem baze potekajo v smeri reambulacije vsebinsko zastarelih listov. Ta faza bo z namenom zagotavljati ažurnost baze ter s tem njeno zanesljivost časovno neomejena.

Zaenkrat se vzdržuje obe evidenci; analogne načrte in prek njih vzpostavljeno digitalno bazo. Glede na stroške vzdrževanja, ekonomičnost in ažurnost podatkov bi bilo smiselno preiti na topografsko bazo. Slednji korak je predmet novega članka, o koraku pa bodo odločale pristojne geodetske službe.

Literatura in viri

GZS (Geodetski zavod R Slovenije) 1996: Tehnologija vzdrževanja TTN velikih meril, tehnično poročilo projekta Izdelava tehnologije vzdrževanja TTN velikih meril. Ljubljana.

Inštitut za geodezijo in fotogrametrijo FAGG, Geodetski zavod R Slovenije, Ljubljanski urbanistični zavod 1996: Definicija vsebine metapodatkovnega sloja in metodologija testiranja kvalitete baze TTN velikih meril. Ljubljana.

OBDELAVA KARTOGRAFSKIH VEKTORSKIH PODATKOVNIH MODELOV S CAD/CAC PROGRAMI

Krešimir Keresteš
Geodetski zavod Slovenije d.d.
Zemljemerska 12, Ljubljana

Izvleček

UDK 528.9:681.3.06

Namen prispevka je prikazati možnosti obdelovanja prostorskih podatkov s CAD programi (programi za računalniško podprto oblikovanje) in CAC programi (programi za računalniško podprto kartografijo). Ti programi s svojim tehnološkim razvojem omogočajo vse večje število različnih operacij, ki pa jih je ob primerni pripravi podatkov možno uporabljati pri izdelavi različnih modificiranih tematskih kart, kakor tudi za prostorske analize kot GIS.

Ključne besede: CAD, CAC, avtomatizirana kartografija, GIS OCAD

Abstract

UDC 528.9:681.3.06

Manipulation of vector cartographic data models with CAD/CAC programs

The purpose of the article is to show the possibilities of using CAD (Computer Aided Design) and CAC (Computer Assisted Cartography) software in treatment of spatial data. This kind of progressed software makes possible a larger number of different operations and in appropriate prepared data enables producing different modified thematic maps and can be used for spatial analyses like GIS.

Keywords: CAD, CAC, automated cartography, GIS, OCAD

1. Uvod

Nastanek CAD programov in nato tudi CAC programov je omogočil pričetek zajema geografskih podatkov, ki so se med drugim prikazovali predvsem kot digitalno izdelane karte. Računalniški CAD/CAC programi, ki so nekdaj omogočali le risanje in oblikovanje, so pripomogli k razvoju sistemov GIS, ki so namenjeni predvsem analizi prostorskih podatkov. Danes CAD/CAC programi poleg zajemanja, obdelave in prikazovanja modelnih podatkov, omogočajo tudi določene analize, kar pa je dostikrat odvisno od priprave podatkov.

2. Uporaba računalniških programov v avtomatizirani kartografiji

Računalniki so se v kartografiji, za izdelavo kart, lahko pričeli uporabljati, ko se je razvila oprema za zajemanje in prikazovanje podatkov. Uporaba računalnikov v kartografiji nam je omogočila to, kar se od avtomatizirane kartografije lahko pričakuje:

- izboljšava kakovosti kart,
- znižanje stroškov izdelave kart,
- hitrejša izdelava kart,
- hitrejša obnova in ažuriranje kart,
- zmanjšanje obsega ročnega dela in
- formiranje kartografske baze podatkov.

CAD programi so programi, ki delujejo z vektorskim pristopom. Zaradi dolge

zgodovine CAD programov, imamo danes veliko izbiri tovrstnih programov z različnimi zmogljivostmi. Te so odvisne predvsem od njihovega namena uporabe (geodezija, arhitektura, strojništvo itd.). Za uporabo v kartografske namene so se razvili t.i. CAC programi.

Zelo malo programov je, ki so univerzalni in omogočajo številne funkcije. Ti so navadno zelo dragi in zaradi svoje obsežnosti potrebujejo izšolane operaterje. Danes nam je na voljo zelo veliko število programov z različnimi zmogljivostmi, katerih posamezne prednosti lahko s pridom izkoriščamo. Zato velikokrat pri izdelavi ene same karte uporabljamo različne programe, ki nam omogočajo določene potrebne operacije.

Da bi izkoriščali določene možnosti in prednosti različnih računalniških programov pri izdelavi kart pri izdelavi kart ali celo kot GIS, je treba podatke primerno pripraviti. Zato je zelo pomembna sama organizacija dela, saj je pri avtomatizirani kartografiji nujno potrebno poznavanje celotnega procesa od zajemanja, obdelave, do prikazovanja in shranjevanja podatkov.

Programi, ki jih nameravamo v procesu uporabiti morajo zadostiti naslednjim pogojem:

- praktičnost uporabe,
- medsebojna kompatibilnost in
- dimenzijska stabilnost.

Praktičnost uporabe izražajo tisti programi, ki omogočajo opravljanje določenih potrebnih funkcij na zadovoljiv in relativno enostaven način.

Medsebojna kompatibilnost je možna med tistimi programi, ki omogočajo vnašanje in zapisovanje podatkov v prenosljivem formatu (npr. DXF ali TIFF format), ali pa pri tem uporabimo prevajalnike – programe, ki omogočajo pretvorbo iz enega v drug zapis (npr. uporaba prevajalnikov v programu CorelDraw).

Dimenzijsko stabilnost zagotavljajo tisti programi, ki pri svojem delovanju (vnašanje, obdelava, shranjevanje in predstavitev podatkov) zagotavljajo točne dimenzije. Posamezni programi pri določenih operacijah podatke popačijo (zaokroževanje pri preračunavanju, uporaba nepopolnih prevajalnikov, uporaba neprimernih krmilnikov ip.). Takšne programe v našem procesu ne moremo uporabiti, saj nam ne omogočajo zanesljivosti pri prenosu in obdelavi podatkov – *dimenzijska nekompatibilnost*.

3. Uporaba računalniških programov pri izdelavi kart

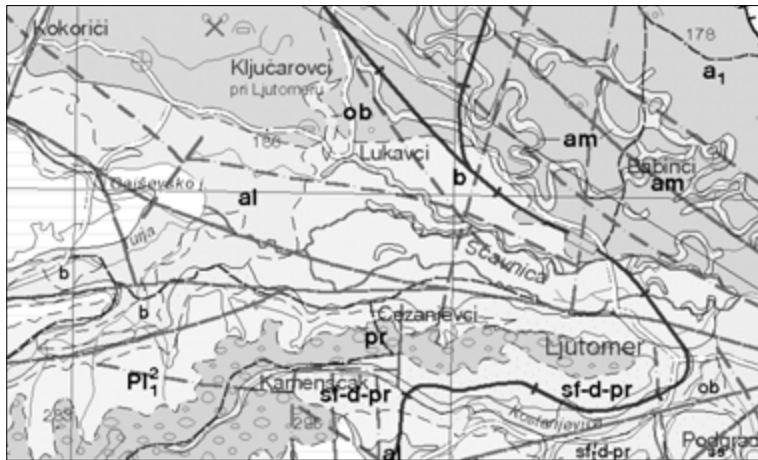
Kartografija je znanost o organiziranju in posredovanju prostorskih informacij v grafični in digitalni obliki. Obsega vse faze od zajemanja do prikaza podatkov in o njihovi uporabi. CAC programi so temu prvenstveno namenjeni, vendar le v digitalni obliki.

V avtomatizirani kartografiji si vsekakor želimo, da bi pri izdelavi kart, vse potrebne funkcije opravljali le z enim programom. To je pomembno, ker želimo vse podatke – kartografski podatkovni model, prikazati v celoti.

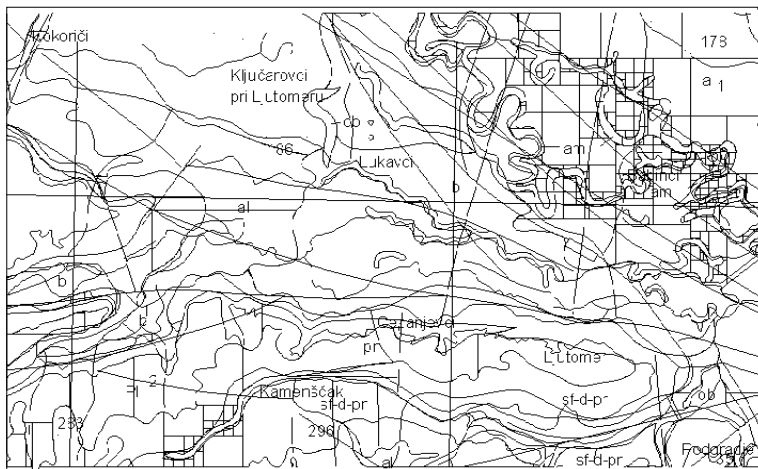
Večina programov, ki jih v avtomatizirani kartografiji uporabljamo, je opredeljena le na enega izmed dveh razvitih sistemov, ki se delita na obliko in način shranjevanja podatkov:

- vektorski in
- rastrski sistem.

Vektorski sistem je v avtomatizirani kartografiji bolj razširjen, saj je geografsko stvarnost enostavneje predstaviti vektorsko s pomočjo topologije. S koordinatnimi pari



Slika 1: Izsek iz geološke karte – list Čakovec (1 : 100.000) - prikaz prostorskih podatkov s CAC programom OCAD.

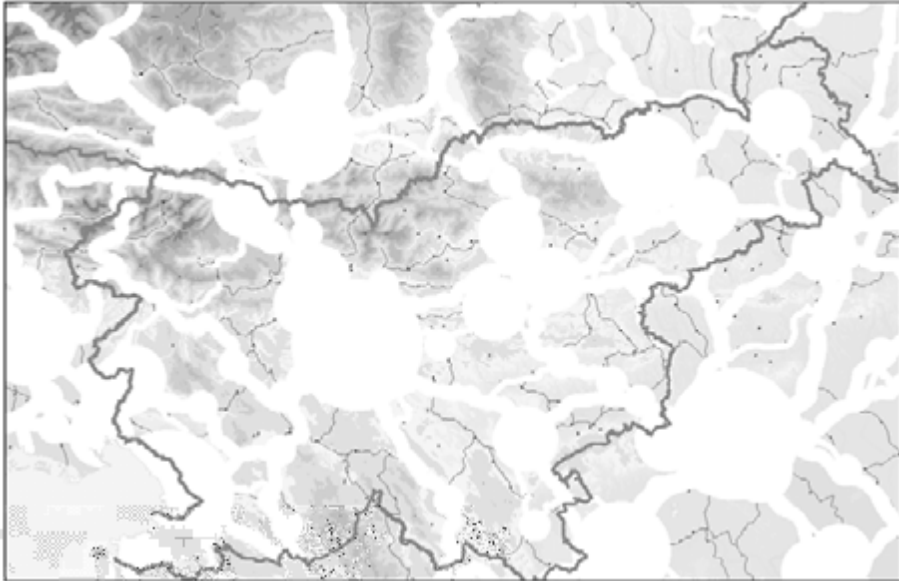


Slika 2: Izsek iz geološke karte – list Čakovec (1 : 100.000) - prikaz prostorskih podatkov s CAD programom AutoCAD (brez entitet).

lahko določamo točke, linije in območja (osnovne grafične gradnike), s katerimi predstavimo geografsko stvarnost.

Rastrski sistem se v kartografiji uporablja predvsem za prikaz senčenja reliefa. Vsak najmanjši slikovni element prikaza (piksel ali gridna celica) ima dodeljeno vrednost, ki predstavlja določene attribute geografske stvarnosti (vrednosti sivine v danem primeru).

Ker so rezultati posameznih sistemov tudi deli vsebine karte, je za prikaz te treba združiti. Danes je vse več vektorskih CAD in celo CAC programov, ki nam omogočajo prikaz rastrskih zapisov v določenem koordinatnem sistemu, kot del samega vektorskega podatkovnega modela. Zaradi teh možnosti in zaradi dejstva, da je vektorski način teh-



Slika 3: Karta Slovenije (1 : 2,000.000) - industrijsko nerazvita področja (uporaba Boolovih operacij vplivnih območij).

nološko bližje kartografskemu načinu izdelave kart (uporaba koordinat in organizacija geometričnih podatkov, ki temelji na treh osnovnih grafičnih gradnikih), se pri izdelavi in predstavitvi kart uveljavljajo predvsem programi, ki podpirajo vektorski način shranjevanja podatkov, njihovo obdelavo in prikaz.

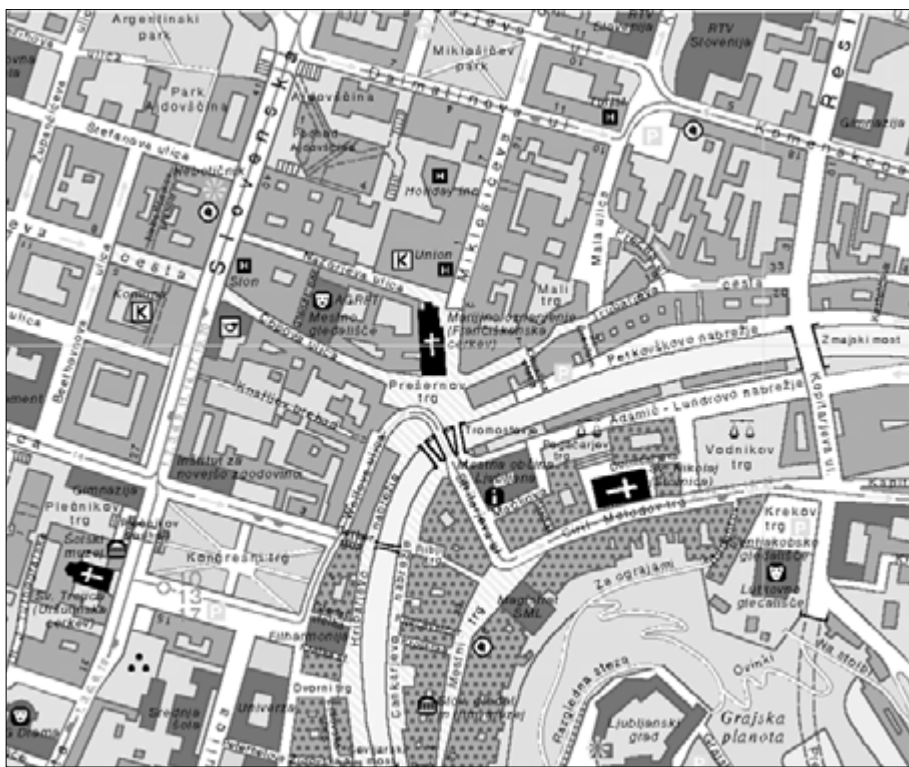
CAC programi so se razvili iz CAD programov in so neke vrste sofisticirani CAD programi (CAD/CAC programi). Namenjeni so izdelavi kartografskih izdelkov - predvsem tematskih in tudi topografskih kart (slika 1). V avtomatizirani kartografiji jih uporabljamo za zajemanje, obdelovanje in oblikovanje geografskih prostorskih podatkov ter za njihovo predstavitev na dvodimenzionalnem mediju (karta na papirju ali zaslonu). Zaradi praktičnosti in oblikovalskih zmožnosti jih zelo uspešno uporabljamo tudi namesto ilustratorskih programov, ki so izpopolnjeni za grafično oblikovanje in so v kartografiji prav tako zelo razširjeni.

4. Uporaba CAD/CAC programov kot GIS

CAD/CAC programi omogočajo določene funkcionalne možnosti kot GIS-a, čeprav so te namenjene predvsem lažji obdelavi in izdelavi kart.

Večina CAD programov ima možnost združevanja elementov po različnih kriterijih na posamezne sloje in možnost definiranja barve in debeline oz. premera grafičnih gradnikov elementov. Te možnosti zadostujejo za enostavne prostorske analize, kot so na primer spreminjanje razredov. Ob primerni pripravi podatkov so možne tudi določene analize z Boolovimi operacijami (slika 3).

Večina vektorskih programov omogoča določene operacije, kot so spreminjanje merila karte, vrtenje, premikanje, izrezovanje, spreminjanje atributov, prenašanje elementov iz enih v druge tematske sloje, njihovo aktiviranje in deaktiviranje itd.



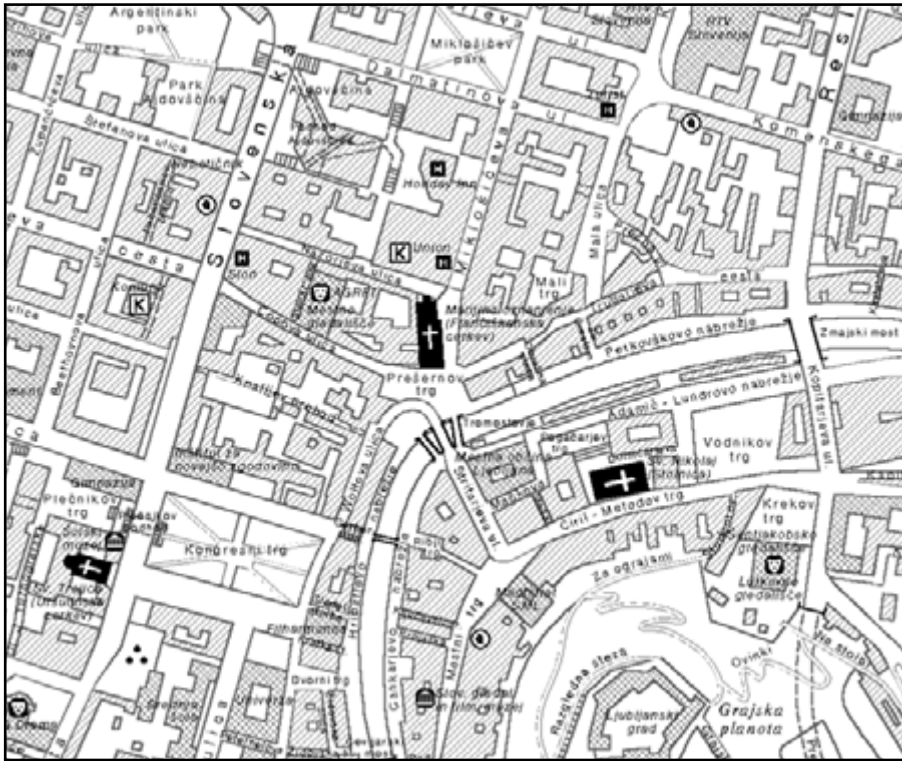
Slika 4: Izsek iz karte mestnega središča Ljubljane (1 : 5000).

Največja posebnost CAC programov, ki jih loči od CAD programov je njihov sistem delovanja. CAC programi so namenjeni izdelavi kart, kar pomeni, da morajo prikazati določene podatke s posebnimi znaki (definiranje topografskih znakov in oblikovanje knjižnice) in v določenih barvah (definiranje barvne palete oz. barvne tabele, ki omogoča barvne manipulacije - prekrivanje in izbijanje barv ter barvne separacije). Poleg tega omogočajo uporabo koordinatnih sistemov in tudi merjenje dolžin in površin v določenem merilu. Kombinacije vseh teh možnosti omogočajo le določene prostorske analize - analitične operacije.

5. Obdelava kartografskih podatkovnih modelov s CAD/CAC programi

Obdelava kartografskih podatkovnih modelov s CAD/CAC programi je odvisna od razpoložljivih funkcij in operacij, ki jih omogočajo programi, ki jih uporabljamo. Te so prilagojene vektorskemu sistemu oz. obdelavi osnovnih grafičnih gradnikov, ki se uporabljajo za predstavitev prostorskih podatkov.

V avtomatizirani kartografiji stremimo k temu, da se digitalni podatki zajeti za izdelavo posamezne karte (slika 4) lahko uporabijo tudi za izdelavo drugih tematskih kart (slika 5). To je možno narediti tudi z modifikacijo že izdelanih digitalnih kart. Da bi to dosegli, je treba vedeti zakaj določene podatke potrebujemo in zakaj jih lahko še uporabimo. Glede na to lahko določimo način zajemanja, obdelavo in pripravo podatkov,



Slika 5: Modificirana karta za turiste – kulturne ustanove v Ljubljani (1 : 5000).

od česar je odvisna učinkovitost posameznih operacij.

CAD/CAC programi nam že ob uvažanju in zajemanju podatkov omogočajo redukcijo elementov. S podatki, ki so reklasificirani na posamezne sloje, lahko poljubno manipuliramo (posamezne sloje lahko deaktiviramo ali celo izbrišemo) in brez problemov določamo pripadajoče attribute.

Pri obdelavi podatkov je možno podatke shranjevati v posamezne tematske sloje, ki so razporejeni glede na tematske skupine, barve, vrsto grafičnih gradnikov, ali topografske znake (pri tem sestavljamo njihovo topologijo). Sloje lahko združujemo ali spreminjamo, kakor tudi posamezne elemente. Prav tako lahko spreminjamo položaje posameznih točk elementov s premikanjem posameznih točk, s premikanjem enega ali skupine elementov, z rotacijo, s povečavo ali pomanjšavo, z zrcaljenjem itd. Posamezne točke lahko dodajamo ali brišemo (glajenje in ravnanje linij). Elemente lahko kloniramo in dupliciramo, pri risanju prevzemamo oblike sosednjih elementov ip.

Pri posameznih operacijah imajo rastrski sistemi zaradi enakomerne razporeditve podatkov (gridnih celic) in zaradi le enega parametra za posamezno celico prednost pred vektorskimi sistemi, ker omogočajo enostavnejšo uporabo pri računskih operacijah – algebra karte. Zato pri obdelavi podatkov uporabljamo tudi programe, ki omogočajo rastrsko obdelavo podatkov.

Pri predstavitvi prikaza nam je v veliko pomoč organiziranost elementov po slojih, ker lahko posamezne sloje deaktiviramo, zapiramo ipd. Končne rezultate

navadno prikazujemo le v enem programu, medtem ko za zajemanje, in obdelavo podatkov uporabljamo različne programe (vektorizacija, transformacija, prostorske analize, senčenje...). Da bo celoten postopek izdelave karte potekal dokaj hitro, je priporočljivo vodenje posameznih podatkov po slojih, ki jih je treba formirati že pri njihovem zajemanju.

6. CAC program OCAD

Računalniški program OCAD je bil narejen za izdelavo kart za orientacijski tek. Izdelan je bil predvsem zato, ker večina CAD programov ni omogočala enostavne izdelave tovrstnih kart (prikaz z določenim naborom znakov in petbarvna separacija). OCAD je zaradi svojega namena izrazito kartografsko usmerjen vektorski program, ki se vse bolj izpopolnjuje.

Četrta verzija programa je bila izključno namenjena izdelavi kart za orientacijski tek. Risanje karte je bilo možno le z definiranimi znaki.

Peta verzija je s preходом iz DOS-a v Windows operacijski sistem omogočila mnoge izboljšave, kot so:

- možnost definiranja barvne tabele,
- možnost določitve posameznih znakov in izdelava knjižnice,
- večje možnosti editiranja,
- uporaba Bézierovih krivulj,
- spreminjanje merila karte,
- informacije o označenem znaku,
- uporaba različnih pisav itd.

Šesta verzija, ki je trenutno aktualna, je s preходом v 32-bitni sistem za Windows 95/NT, prinesla naslednje izboljšave:

- povečanje zmogljivosti (format karte, št. elementov, št. znakov, št. barv),
- uporaba določenega pravokotnega koordinatnega sistema,
- uvažanje podatkov pridobljenih z GPS-om,
- večje možnosti pri definiranju posameznih znakov,
- možnost pisanja v krivuljah,
- izboljššan način in hitrost tiskanja,
- izdelava barvnih separacij po barvni tabeli ali po CMYK-u itd.

Novo verzijo OCAD-a lahko pričakujemo konec leta. Avtor je na spletnih straneh že predstavil beta verzijo, ki ima še večje zmogljivosti (št. elementov, št. znakov) in omogoča pretvorbo definiranih znakov na posamezne grafične gradnike, združevanje prekrivajočih elementov v enega, prikaz rastrskega sloja kot posameznega barvnega sloja in zmožnost njegovega tiskanja, zmožnost direktnega skeniranja podatkov itd.

Žal ima tudi OCAD posamezne pomanjkljivosti, kot so:

- uporaba digitalnikov v novejših verzijah ni več podprta,
- rastrska podlaga je predvidena le v formatu BMP,
- nezmožnost vektorizacije skeniranih podatkov,
- pisanje napisov podpira le pisave vrste True Type,

- možnost uvažanja in izvažanja le dveh vektorskih formatov – OCAD in DXF (nova verzija bo podpirala tudi formate AI, WMF in EMF).
Seveda pa so te glede na razmerje cena – uporabnost zanemarljive.

7. Sklep

Na tržišču je veliko število programov, ki imajo zelo različne sposobnosti pri obdelavi prostorskih podatkov. Vse več je programov, ki podpirajo različne formate že uveljavljenih programov in takšnih, ki že lahko formirajo svoj samostojen informacijski sistem. Omogočajo tridimenzionalne operacije in najrazličnejše vizualizacije iz satelitskih posnetkov. Ti programi so zelo dragi in potrebujejo izšolane operaterje in prirejeno opremo. Vendar pa obstajajo tudi mnogo cenejši in za uporabnika enostavnejši programi, ki ne potrebujejo velikih zahtev. Nekateri izmed njih so namenjeni tudi računalniško podprti kartografiji. S pravilnim pristopom je, možno izdelati vsaj enakovredne, če ne boljše kartografske izdelke, saj je kakovost teh odvisna predvsem od samega kartografa. To smo ugotovili kartografi Geodetskega zavoda Slovenije in Inštituta za geodezijo in fotogrametrijo FGG, ki za izdelavo tematskih kart uporabljamo program OCAD.

Literatura in viri

- Drobne, S., Podobnikar, T., Marini, S. 1997: Prostorske analize v geografskih informacijskih sistemih. Geodetski vestnik, Zveza geodetov Slovenije. Ljubljana. Str. 291 – 301.*
- Keresteš, K. 1996: Izdelava karte za orientacijski tek. Diplomaska naloga. FGG. Ljubljana.*
- Kvamme, K., Oštir – Sedej, K., Stančič, Z., Šumrada, R. 1997: Geografski informacijski sistemi. ZRC SAZU. Ljubljana.*
- Robinson, A. H., Morrison, J. L., Muehrcke, P. C., Kimerling, A. J., Guptill, S. C. 1995: Elements of Cartography. John Wiley & Sons. New York.*
- Steinegger, H. 1996: Getting Started with OCAD for Windows 95/NT. Hans Steinegger Software. Baar/Switzerland.*

PRAVOKOTIZACIJA VEKTORSKO ZAJETIH STAVB IN NJIHOVA A POSTERIORI OCENA NATANČNOSTI

Sandi Berk

Inštitut za geodezijo in fotogrametrijo FGG

Jamova cesta 2, Ljubljana

sandi.berk@institut-gf.uni-lj.si

Izvleček

UDK 711.6:72.011

Predstavljen je postopek pravokotizacije vektorsko zajetih stavb. Ob predpostavki, da naj bi bile fasade stavb med seboj pravokotne, določimo dokončne koordinate vogalnih točk z izravnavo po metodi najmanjših kvadratov. Uporabljen je model pogojne izravnave. Nadšteviline geometrijske pogoje eliminiramo s psevdoinverzijo matrike koeficientov normalnih enačb. Izvedemo tudi a posteriori oceno natančnosti. Na ta način pridobimo nekatere koristne informacije o kakovosti digitalne baze stavb.

Ključne besede: izravnava, ocena natančnosti, pravokotizacija, stavba, vektorizacija

Abstract

UDC 711.6:72.011

Rectangularization of vector captured buildings and their a posteriori precision estimation
The rectangularization procedure of vector captured buildings is presented. Supposing that facades of buildings should be perpendicular to each other, the final coordinates of corner points was determined by least-squares adjustment method. The condition equation model was applied. Redundant geometric conditions was eliminated using pseudoinversion of the normal matrix. The a posteriori precision estimation was also realized. This way some useful information on quality of digital database of buildings can be acquired.

Keywords: adjustment, building, precision estimation, rectangularization, vectorization

1. Uvod

Pri digitalizaciji topografskih in katastrskih načrtov z ročno vektorizacijo originalnih načrtov ali ekransko vektorizacijo njihovih skenogramov, pa tudi pri fotogrametričnem zajemu, določimo obliko, velikost, položaj in orientacijo stavbe v prostoru z vektorskim zajemom njenega oboda. Zajem stavbe delimo na zajem metrike, ki predstavlja meritev koordinat vogalov stavbe, in zajem topologije, ki definira obod, torej povezav med vogali stavbe. Čeprav stavbe v naravi niso nikoli popolnoma pravokotne, so kot takšne praviloma opredeljene v gradbeni dokumentaciji. Obode zajetih stavb želimo zato idealizirati in stranice njihovih obodov spraviti v pravokotni položaj. Naročnik to največkrat zahteva iz estetskih razlogov.

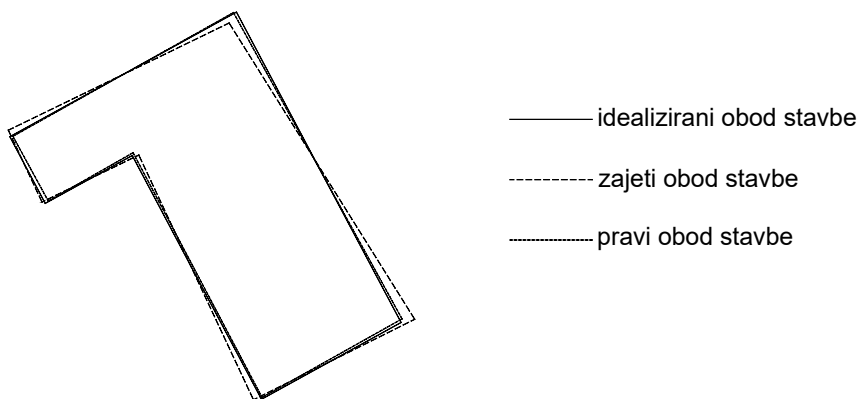
Nekatera orodja za vektorski zajem (npr. MapCAD, RX Vector ipd.) imajo vgrajene posebne funkcije, ki nam pomagajo stavbe zajeti tako, da so vogali njihovih obodov čim bolj pravokotni. Vsem takšnim pristopom k zajemu stavb je skupno to, da nam po drugi strani kvarijo natančnost zajema. Vsi opisani načini so bolj ali manj subjektivni; rezultat je precej odvisen od izbire prve fasade, ki jo zajamemo. Največjo natančnost in tudi nepristranskost dobimo v primeru, ko vsak vogal stavbe zajamemo neodvisno, torej tako, da s kurzorjem, ki ga vodimo z miško (ekranska vektorizacija), nitnim križem na napravi za ročno digitalizacijo (vektorizacija na digitalniku) oziroma z markico v stereomodelu

(fotogrametrični zajem) nastavimo na vogal stavbe in sprožimo registracijo koordinat. Koordinate, ki jih na ta način pridobimo, so naša opazovanja. Najpopolnejšo informacijo o obliki, položaju, razsežnostih in orientaciji stavbe dobimo ob upoštevanju vseh vogalnih točk, ki so zajete neodvisno. Uvedemo pogoje pravokotnosti in tako dobimo nadštevilna opazovanja. Ob upoštevanju dejstva, da so - oziroma naj bi bile - fasade stavb med seboj pravokotne, lahko poiščemo najverjetnejše položaje vogalnih točk stavb. Postopek, ki nas privede do koordinat teh točk, imenujmo *pravokotizacija stavb*.

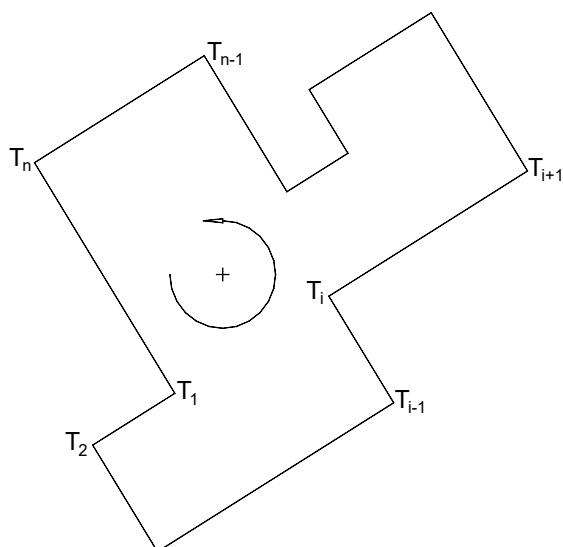
Strogi postopek pravokotizacije vektorsko zajetih stavb temelji na izravnavi koordinat zajetih vogalnih točk stavb po metodi najmanjših kvadratov. Z minimalnimi premiki dosežemo pravokotnost v vogalih stavb, pri tem pa se v kar največji možni meri ohranijo položaj, orientacija in razsežnosti (velikost) stavb. Dobljene obode imenujmo *idealizirani obodi stavb*. Ti obodi nam določajo najverjetnejši položaj, orientacijo in razsežnosti stavbe glede na zajete vrednosti koordinat in upoštevaje zahtevo, da naj bi bile fasade stavb med seboj pravokotne. Pri tem zanemarimo dejstvo, da zaradi nenatančne gradnje vogali v naravi vendarle niso popolnoma pravokotni; mnogo večji delež v odstopanjih od pravokotnosti je posledica slučajnih napak v različnih fazah zajema (glej sliko 1).

Če zanemarimo, da stavbe dejansko niso popolnoma pravokotne, so pričakovane vrednosti izravnanih koordinat vogalnih točk enake njihovim pravih koordinatam. Velikost odstopanj zajetih koordinat vogalov stavbe od idealiziranih je po zajemu razen od natančnosti same gradnje odvisna od:

- merila in natančnosti topografsko-kartografskega vira,
 - skrčkov/raztezkov načrtov, ločljivosti skeniranja in kakovosti razpačenja in
 - natančnosti vektorizacije načrtov,
- v primeru fotogrametričnega zajema pa od:
- merila in kakovosti posnetkov,
 - kakovosti stereomodela in
 - natančnosti iz vrednotenja.



Slika 1: Idealizirani, zajeti in pravi obod stavbe.



Slika 2: Oštevilčenje vogalnih točk stavbe.

S postopkom pravokotizacije stavb lahko pridobimo tudi informacije, ki se nanašajo na natančnost dobljene digitalne baze. Posledica uvedbe pogojev pravokotnosti je namreč pojav nadštevilnih opazovanj in z analizo rezultatov izravnave lahko ocenimo natančnost dobljene vektorske baze stavb.

2. Matematični model pravokotizacije stavb

Matematični model izravnave, ki je osnova postopka pravokotizacije stavb, delimo na funkcionalni, stohastični in topološki model. Smiselna je uporaba pogojne metode izravnave. Opazovanja, ki jih izravnavamo, so koordinate vogalnih točk dane stavbe oziroma kompleksa stikajočih se stavb. Vsaka takšna enota je obravnavana ločeno, nekatere analize pa izvedemo na podlagi rezultatov izravnave vseh stavb danega območja.

Imejmo torej obod stavbe, zajet z vsemi njenimi vogalnimi točkami. Slednje oštevilčimo od začetne do končne točke njenega oboda, običajno tako, da jo obkrožimo v protiurni smeri (slika 2).

Vzemimo, da tvori obod \$n\$ vogalnih točk. Zajete koordinate točk označimo z \$x_1, y_1, x_2, y_2 \dots x_n, y_n\$. Najenostavnejši pogoj pravokotnosti v \$i\$-ti vogalni točki stavbe je kar Pitagorov izrek; fasadi, ki se stikata v tej točki, predstavljata kateti pravokotnega trikotnika, torej mora veljati

$$(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2 + (x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2 - (x_{i-1} - x_{i+1})^2 - (y_{i-1} - y_{i+1})^2 = 0$$

Tako imamo recept za tvorbo pogojnih enačb za vse vogalne točke, paziti pa moramo pri enačbi za prvo točko, ko namesto indeksa \$i\$ – vstavimo indeks \$n\$, in pri enačbi za \$n\$-to točko, ko namesto indeksa \$i + 1\$ vstavimo indeks \$1\$. Nekoliko zahtevnejša je obravnava

kompleksov stikajočih se stavb. Predpostavimo, da so vsa opazovanja enako natančna. Njihova variančno-kovariančna matrika je potem oblike

$$Q = s_k^2 \cdot I ,$$

kjer je s_k a priori ocena standardnega odklona zajetih koordinat. Sistem pogojnih enačb se v matrični obliki glasi (Feil 1990)

$$U \cdot V + T = 0 ,$$

kjer so:

V ... vektor popravkov koordinatnih opazovanj,

T ... vektor odstopanj v pogojnih enačbah in

U ... matrika koeficientov pogojnih enačb.

Za vektor V torej velja

$$V^T = [v_{x_1} \quad v_{y_1} \quad v_{x_2} \quad v_{y_2} \quad \dots \quad v_{x_n} \quad v_{y_n}] ,$$

vektor T pa je

$$T = \begin{bmatrix} (x_1 - x_n)^2 + (y_1 - y_n)^2 + (x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 - (x_n - x_2)^2 - (y_n - y_2)^2 \\ (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (x_2 - x_3)^2 + (y_2 - y_3)^2 - (x_1 - x_3)^2 - (y_1 - y_3)^2 \\ \vdots \\ (x_n - x_{n-1})^2 + (y_n - y_{n-1})^2 + (x_n - x_1)^2 + (y_n - y_1)^2 - (x_{n-1} - x_1)^2 - (y_{n-1} - y_1)^2 \end{bmatrix}$$

Matrika U je matrika parcialnih odvodov pogojnih enačb po koordinatah, torej

$$U = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial y_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \frac{\partial f_1}{\partial y_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} & \frac{\partial f_1}{\partial y_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial y_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial y_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_n} & \frac{\partial f_2}{\partial y_n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial f_k}{\partial x_1} & \frac{\partial f_k}{\partial y_1} & \frac{\partial f_k}{\partial x_2} & \frac{\partial f_k}{\partial y_2} & \dots & \frac{\partial f_k}{\partial x_n} & \frac{\partial f_k}{\partial y_n} \end{bmatrix} ,$$

kjer je k število vseh pogojev pravokotnosti. Vsaka pogojna enačba ima šest od 0 različnih koeficientov, ki se nanašajo na tri zaporedne vogalne točke. Pri pogojni enačbi f_i , ki se nanaša na i-to vogalno točko, dobimo naslednje vrednosti odvodov

$$\frac{\partial f_i}{\partial x_{i-1}} = 2 \cdot (x_{i+1} - x_i)$$

$$\frac{\partial f_i}{\partial y_{i-1}} = 2 \cdot (y_{i+1} - y_i)$$

$$\frac{\partial f_i}{\partial x_i} = 4 \cdot x_i - 2 \cdot (x_{i-1} + x_{i+1})$$

$$\frac{\partial f_i}{\partial y_i} = 4 \cdot y_i - 2 \cdot (y_{i-1} + y_{i+1})$$

$$\frac{\partial f_i}{\partial x_{i+1}} = 2 \cdot (x_{i-1} - x_i)$$

$$\frac{\partial f_i}{\partial y_{i+1}} = 2 \cdot (y_{i-1} - y_i)$$

Popravki koordinat dobljeni z izravnavo po metodi najmanjših kvadratov so (Feil 1990)

$$V = Q \cdot U^T \cdot (U \cdot Q \cdot U^T)^{-1} \cdot T$$

v primeru neodvisnih opazovanj enake natančnosti pa kar

$$V = U^T \cdot (U \cdot U^T)^{-1} \cdot T$$

Dokončne koordinate vogalnih točk so vsota zajetih koordinat in dobljenih popravkov koordinat

$$\left. \begin{aligned} \hat{x}_i &= x_i + v_{x_i} \\ \hat{y}_i &= y_i + v_{y_i} \end{aligned} \right\} \quad i \in \{1 \dots n\}$$

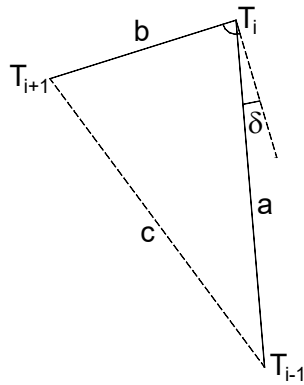
3. Kriteriji za tvorbo pogojnih enačb

Pred tvorbo pogojnih enačb moramo določiti kriterij, po katerem bomo vogale, v katerih naj bi se dve fasadi stikali pod pravim kotom, ločili od tistih, v katerih ta kot ni enak 90°. Prva možnost je določitev nekega tolerančnega kota, ki predstavlja največje dopustno odstopanje kota, ko bomo dano vogalno točko še imeli za stičišče dveh med seboj pravokotnih fasad. Označimo stranice tega trikotnika z a, b in c (glej sliko 3). Velja torej

$$a = \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2},$$

$$b = \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2} \quad \text{in}$$

$$c = \sqrt{(x_{i-1} - x_{i+1})^2 + (y_{i-1} - y_{i+1})^2}.$$



Slika 3: Kotno odstopanje i -te vogalne točke od pravokotnosti.

Odstopanje kota v dani vogalni točki od 90° izrazimo s kosinusnim izrekom. Imamo

$$\cos(90^\circ \pm \delta) = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2 \cdot a \cdot b} .$$

Kotno odstopanje je potem

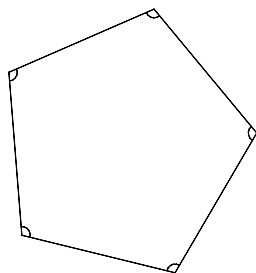
$$\delta = \left| 90^\circ - \arccos \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2 \cdot a \cdot b} \right| ,$$

kriterij za tvorbo pogojne enačbe pa se glasi

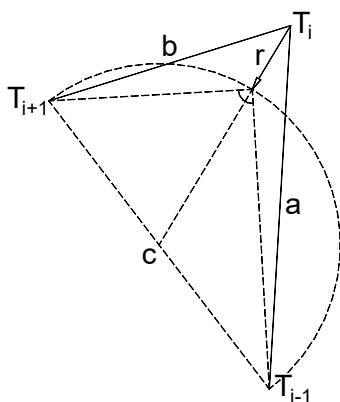
$$\delta < \Delta ,$$

kjer je Δ izbrani tolerančni kot. Izbira tega kota je odvisna od natančnosti zajema. Pri manj natančnem zajemu mora biti tolerančni kot večji, sicer bodo v nekaterih vogalih fasade še vedno ostale nepravokotne. Prevelik tolerančni kot pa nas lahko privede tudi do divergence. V najbolj neugodnem primeru, ko imamo opraviti s pravilnim peterokotnikom, je zgornja meja tolerančnega kota enaka 18° ; notranji koti v pravilnem peterokotniku namreč merijo 108° , torej za 18° odstopajo od 90° .

Strogo gledano kotni kriterij ni najprimernejši recept za iskanje vogalov, v katerih naj bi dosegli medsebojno pravokotnost fasad. Ker je vsaka točka zajeta neodvisno in z enako natančnostjo, bomo dali vsem vogalnim točkam možnost premikanja znotraj nekega tolerančnega kroga. Če lahko v dani vogalni točki dosežemo pravokotnost fasad ne da bi jo pri tem premaknili iz njenega tolerančnega kroga, bomo zanjo tvorili pogojno enačbo, sicer ne. Zanima nas torej najmanjši premik r , potreben za doseg pravokotnosti v i -ti vogalni točki (slika 5).



Slika 4: Prikaz pogojev pravokotnosti, kjer zaradi prevelikega tolerančnega kota dobimo protislovni sistem.



Slika 5: Najmanjši premik r -te vogalne točke potreben za doseg pravokotnosti.

Velikost premika, ki je potreben, da v dani vogalni točki dosežemo pravokotnost, izrazimo s kosinusnim izrekom; težiščnico z enim krajiščem v vogalni točki izrazimo s stranicama enega izmed nastalih trikotnikov in kosinusom kota med njima, slednjega pa - tudi s kosinusim izrekom - izrazimo s stranicami osnovnega trikotnika (glej sliko 5). Imamo torej

$$\left(\frac{c}{2} \pm r\right)^2 = a^2 + \left(\frac{c}{2}\right)^2 - 2 \cdot a \cdot \frac{c}{2} \cdot \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2 \cdot a \cdot c},$$

od koder dobimo

$$r = \frac{1}{2} \cdot \left| c - \sqrt{2 \cdot (a^2 + b^2) - c^2} \right|.$$

Kriterij za tvorbo pogojne enačbe se potem glasi

$$r < R.$$

Pri tem je R izbrani polmer tolerančnega kroga, znotraj katerega naj se nahaja točka. Slednjega izberemo na podlagi a priori ocene natančnosti zajema. Velikost tolerančnega polmera je sorazmerna s standardnim odklonom položaja točke, imenovanim tudi Helmerov pogrešek točke, ki ga izražamo v obliki

$$s_p = s_k \cdot \sqrt{2}$$

in kjer je s_k standardni odklon koordinat zajetih točk. Čim večji je torej standardni odklon koordinat zajetih točk, tem večji tolerančni polmer izberemo. Za določitev najugodnejšega razmerja med obema vrednostima uporabimo naslednji statistični preizkus:

Predpostavimo, da gre v danem primeru res za oglišče, v katerem bi se morali fasadi stikati pod pravim kotom; to je naša ničelna domneva. Naj bosta:

r_x ... komponenta premika vogalne točke v smeri x-osi in

r_y ... komponenta premika vogalne točke v smeri y-osi.

Velja torej zveza

$$r = \sqrt{r_x^2 + r_y^2} .$$

V primeru veljavnosti ničelne domneve sta komponenti premika vogalne točke normalno porazdeljeni slučajni spremenljivki. Velja torej

$$r_x \sim \mathcal{N}(0, s_k) \quad \text{in} \quad r_y \sim \mathcal{N}(0, s_k) .$$

Če komponenti premika standardiziramo, dobimo

$$\frac{r_x}{s_k} \sim \mathcal{N}(0, 1) \quad \text{in} \quad \frac{r_y}{s_k} \sim \mathcal{N}(0, 1) .$$

Vsota kvadratov dveh standardizirano normalno porazdeljenih slučajnih spremenljivk pa je porazdeljena po hi kvadrat verjetnostni porazdelitvi z dvema prostostnima stopnjama (Jamnik 1995), torej lahko zapišemo

$$h = \frac{r_x^2}{s_k^2} + \frac{r_y^2}{s_k^2} = \frac{r^2}{s_k^2} \sim \chi^2(2) .$$

Naša preizkusna statistika h je torej kvadrat kvocienta izračunanega premika vogalne točke in standardnega odklona koordinat zajetih točk. Matematično upanje slučajne spremenljivke porazdeljene po hi kvadrat verjetnostni porazdelitvi je kar enako številu prostostnih stopenj porazdelitve (Jamnik 1980). Velja torej

$$E(h) = E\left(\frac{r^2}{s_k^2}\right) = E\left(\frac{2 \cdot r^2}{s_p^2}\right) = 2 .$$

Od toder sledi, da je matematično upanje za premik vogalne točke potreben za doseg pravokotnosti enako

$$E(\mathbf{r}) = s_p .$$

Porazdelitev naše preizkusne statistike je torej nesimetrična, in ker je gostota verjetnosti hi kvadrat verjetnostne porazdelitve z dvema prostostnima stopnjama monotono padajoča funkcija (manjši kot je premik, bolj je verjetno, da velja ničelna domneva), se odločimo za enostranski preizkus. Stopnjo značilnosti preizkusa dobimo iz izraza

$$1 - \alpha = P(H < h) = F_{\chi^2_2}(h, 2) = \frac{1}{2} \cdot \int_0^h e^{-\frac{t}{2}} \cdot dt = 1 - e^{-\frac{h}{2}}$$

in jo lahko z našo preizkusno statistiko izrazimo kar elementarno

$$\hat{a} = e^{-\frac{h}{2}}$$

oziroma

$$\hat{a}_{[\%]} = 100 \cdot e^{-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{r}{s_k}\right)^2} .$$

Zadnji izraz podaja stopnjo tveganja za napako prve vrste, torej tveganje, da smo v primeru zavrnitve dane vogalne točke, kot točke nepravokotnega loma fasad, storili napako. Pogoji, da obravnavamo vogalno točko kot stičišče dveh pod pravim kotom stikajočih se fasad, je potem

$$\alpha > A ,$$

kjer je A izbrana mejna stopnja značilnosti preizkusa. Iz izraza za stopnjo tveganja dobimo polmer tolerančnega kroga za dano stopnjo tveganja, ki predstavlja kritično vrednost naše preizkusne statistike, torej

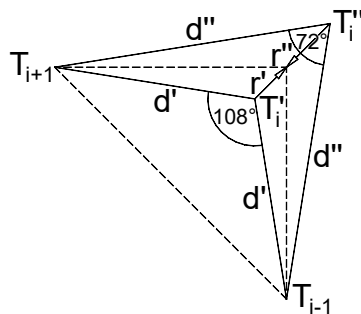
$$R = s_k \cdot \sqrt{2 \cdot \log \frac{100}{A_{[\%]}}} .$$

Tolerančni polmer je torej v linearni zvezi s standardnim odklonom koordinat točk, faktor, s katerim moramo slednjega pomnožiti, pa je odvisen od izbrane stopnje značilnosti preizkusa. Velikosti tolerančnega polmera je podamo v preglednici 1.

Izbira velikega dopustnega tveganja za napako prve vrste (A) pomeni veliko verjetnost, da bodo nekateri vogali, ki bi jih morali obravnavati kot pravokotne, ostali nepravokotni. Gledano s tega zornega kota želimo torej čim manjše tveganje in s tem čim večji tolerančni polmer. Vendar pa izbira majhnega dopustnega tveganja za napako prve vrste pomeni hkrati povečanje možnosti za napako druge vrste, kar pa v našem primeru pomeni, da bodo tudi nekateri vogali, ki so dejansko nepravokotni, postali pravokotni. V praksi izberemo za mejno stopnjo značilnosti

| $s_k \setminus A$ | 1 % | 2 % | 5 % | 10 % | 15 % | 20 % |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0,02 m | 0,06 m | 0,06 m | 0,05 m | 0,04 m | 0,04 m | 0,04 m |
| 0,10 m | 0,30 m | 0,28 m | 0,24 m | 0,21 m | 0,19 m | 0,18 m |
| 0,50 m | 1,52 m | 1,40 m | 1,22 m | 1,07 m | 0,97 m | 0,90 m |

Preglednica 1: Tolerančni polmer v odvisnosti od izbrane stopnje značilnosti preizkusa in od a priori ocene standardnega odklona koordinat točk.



Slika 6: Premik vogalne točke v primeru največjega dopustnega kotnega odstopanja.

$$10 \% \geq A \geq 2 \% ,$$

kar približno ustreza izbiri tolerančnega polmera (glej preglednico 1)

$$2 \cdot s_k \leq R \leq 3 \cdot s_k .$$

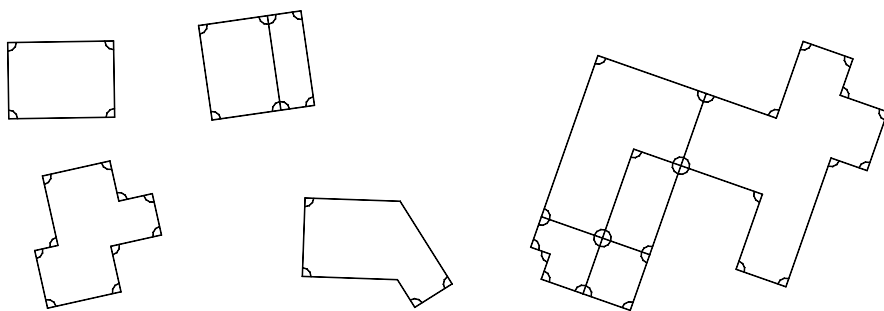
Zgornjo mejo tolerančnega polmera nam narekuje tudi velikost najmanjših detajlov, ki jih na stavbah še zajamemo, torej cenzus redukcije detajla.

Dokažemo lahko, da v primeru stika dveh takšnih fasad pri največjem kotnem odstopanju, ki ga še lahko dopuščamo (glej sliko 6), velja

$$\frac{r'}{d'} = \frac{r''}{d''} = \sqrt{1 - \sqrt{\frac{5 + \sqrt{5}}{8}}} \approx 0,22$$

Kotno odstopanje v vogalni točki je torej vedno manjše od kritičnih 8° , če bo za izbrani tolerančni polmer veljalo

$$R < 0,2 \cdot d .$$



Slika 7: Prikaz vseh možnih pogojev pravokotnosti dobljenih glede na izbrani kriterij.

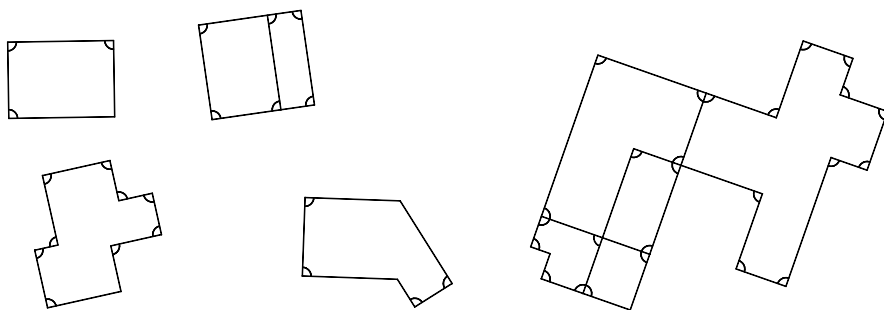
Pri tem je d dolžina najmanjšega odseka, ki ga na obodu stavbe še zajamemo. Če izberemo večji tolerančni polmer, je pri ugotavljanju pravokotnosti potrebno upoštevati tudi kotni kriterij.

4. Problem nadštevilnih pogojev

Po izbranih kriterijih opisanih v prejšnjem poglavju dobimo za vsako stavbo oziroma skupino stikajočih se stavb nek sistem pogojnih enačb. Nekaj primerov tako dobljenih pogojev pravokotnosti je prikazanih na sliki 7.

Problem, ki se pojavi, je v tem, da so sistemi pogojnih enačb, ki jih dobimo upoštevajoč kotni kriterij in/ali kriterij tolerančnega kroga, skoraj vedno singularni. Že v primeru najenostavnejše oblike stavbe - pravokotnika - dobimo en nadštevilni pogoj. Izmed pogojev, ki smo jih dobili na podlagi izbranih kriterijev (tolerančni kot oz. tolerančni polmer), moramo torej zaradi geometrije stavbe enega izmed pogojev črtati. V primeru pravokotnika je vseeno, kateri pogoj izpustimo. Pri kompleksnih stikajočih se stavb in v primerih, ko imajo stavbe tudi vogale, v katerih se fasade ne stikajo pod pravim kotom, pa pravilna izbira pogojev ni tako enostavna. Za navedeni primer (glej sliko 7) je ena izmed možnih izbir pogojev pravokotnosti prikazana na sliki 8.

Pri večjih kompleksnih stikajočih se stavb je določitev potrebnega števila pogojev, predvsem pa njihova izbira, dokaj zahtevna naloga. Še težje je izdelati univerzalni algoritem, po katerem bi to nalogo namesto nas opravil računalnik. Nastali problem lahko brez



Slika 8: Prikaz izbire pogojev pravokotnosti z izločitvijo nadštevilnih pogojev.

izločanja nadštevilnih pogojev rešimo s psevdoinverzijo matrike koeficientov normalnih enačb, torej matrike

$$N = U \cdot U^T .$$

Ker je matrika koeficientov normalnih enačb izrojena (singularna), uporabimo algoritem razcepa po singularnih vrednostih (Press et al. 1988) in matriko N razcepimo na tri matrike

$$N = X \cdot W \cdot Y^T ,$$

kjer sta matriki X in Y ortogonalni matriki, matrika W pa diagonalna matrika singularnih vrednosti. Ker je matrika N v našem primeru pozitivno definitna simetrična matrika, ima matrika W po diagonali kar lastne vrednosti matrike N. Psevdoinverzna matrika matrike N je

$$N^+ = Y \cdot \overline{W}^{-1} \cdot X^T ,$$

kjer je \overline{W}^{-1} diagonalna matrika, katere diagonalni elementi so obratne vrednosti ustreznih diagonalnih elementov matrike W, če so slednji različni od 0, sicer pa ostanejo enaki 0.

Število ničelnih lastnih vrednosti matrike N predstavlja defekt sistema oziroma število nadštevilnih pogojev pravokotnosti. Ti diagonalni členi so seveda le blizu 0, saj matrika N ni dobljena iz dokončnih vrednosti koordinat vogalnih točk. Za določitev meje med ničelnimi in neničelnimi lastnimi vrednostmi je potrebna analiza lastnih vrednosti matrike N oziroma tako imenovana spektralna analiza. Za matriko N, ki ni izrojena, definiramo število pogojenosti (Bohte 1991)

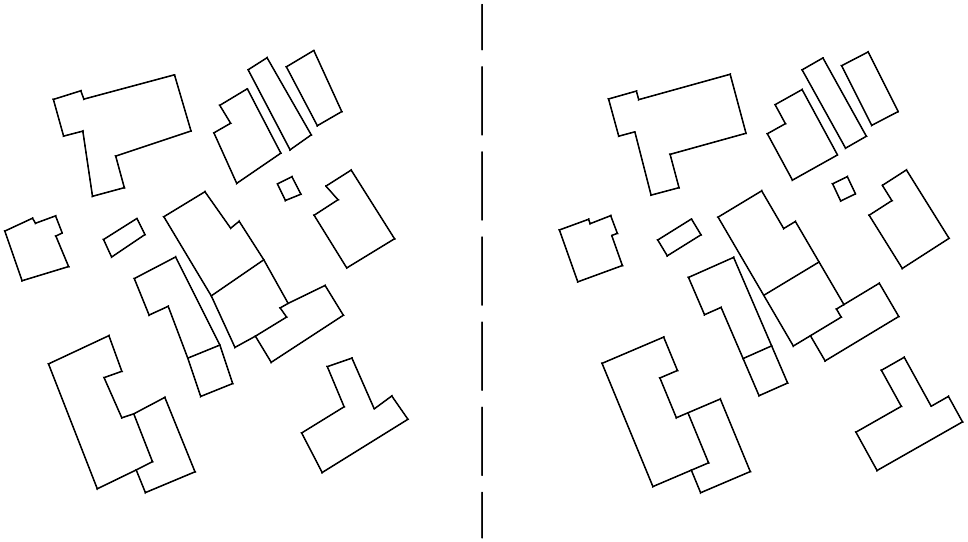
$$c = \text{cond}(N) = \|N\|_2 \cdot \|N^{-1}\|_2 .$$

Število pogojenosti je torej produkt spektralnih norm matrike N in njene in inverzne matrike, za spektralno normo pa velja

$$\|N\|_2 = \sqrt{\rho(N^T \cdot N)} ,$$

kjer je ρ spektralni polmer matrike, ki je enak absolutni vrednosti absolutno največje lastne vrednosti dane matrike. Število pogojenosti je v primeru pozitivno definitne simetrične matrike kar kvocient največje in najmanjše lastne vrednosti matrike (Press et al. 1988), torej

$$c = \frac{\lambda_{max}}{\lambda_{min}} .$$



Slika 9: Rezultat postopka pravokotizacije: levo vektorizirane in desno idealizirane stavbe.

Matrika je slabo pogojena, če je njeno število pogojenosti veliko. V tem primeru utegnejo majhne spremembe podatkov povzročiti velike spremembe v rešitvi sistema (Bohte 1991). Za izrojene matrike seveda velja $c = \infty$.

Upoštevaje omenjena dejstva lahko za prepoznavanje ničelnih lastnih vrednosti matrike N uporabimo naslednji algoritem: Lastne vrednosti matrike N razvrstimo po velikosti, tako da dobimo niz $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$, za katerega velja $\lambda_i \geq \lambda_{i+1}$; λ_1 je torej največja, λ_n pa najmanjša lastna vrednost matrike N . Predpostavimo, da je λ_i v tem nizu zadnja neničelna lastna vrednost. Število pogojenosti dobljene podmatrike matrike N je potem

$$c_i = \frac{\lambda_1}{\lambda_i} .$$

Tako lahko določimo števila pogojenosti za celoten niz podmatrik matrike N (oz. dokler velja $\lambda_i > 0$), dobimo torej niz $c_1, c_2 \dots c_n$. Meje med ničelnimi in neničelnimi lastnimi vrednostmi sedaj ni težko poiskati. Pogojenost se s povečevanjem ranga matrike N neprestano slabša. Velja torej

$$\frac{c_{i+1}}{c_i} \geq 1 ,$$

vendar pa je ta kvocijent ponavadi nekje med 1 in 10, le redko večji. V določenem trenutku pa dobimo

$$\frac{c_{i+1}}{c_i} \gg 1 .$$

Pogojenost se drastično zmanjša (število pogojenosti se zelo poveča) in meja med ničelnimi in neničelnimi lastnimi vrednostmi je najdena. Preostale lastne vrednosti torej obravnavamo kot ničelne; njihovo število predstavlja defekt matrike normalnih enačb oziroma število nadštevilnih pogojev pravokotnosti.

5. A posteriori ocena natančnosti zajetih stavb

Postopek pravokotizacije stavb nam omogoča tudi a posteriori oceno natančnosti koordinat vogalnih točk stavb, torej oceno, ki izhaja iz izravnave po metodi najmanjših kvadratov. Po izvedbi pravokotizacije lahko na podlagi popravkov koordinat izvedemo a posteriori oceno standardnega odklona koordinat vogalnih točk

$$\hat{s}_k = \sqrt{\frac{1}{p-d} \cdot \sum_{i=1}^n ((x_i - \hat{x}_i)^2 + (y_i - \hat{y}_i)^2)},$$

kjer so:

| | | |
|------------------------|-----|---|
| n | ... | število vseh vogalnih točk (za vse stavbe), |
| p | ... | število vseh pogojev pravokotnosti in |
| d | ... | število vseh nadštevilnih pogojev pravokotnosti (defekt). |
| x_i, y_i | ... | dani koordinati i-te vogalne točke, |
| \hat{x}_i, \hat{y}_i | ... | izravnani koordinati i-te vogalne točke, |

Ocena je zanesljiva, če se dovolj dobro ujema z a priori oceno, s katero je bil določen tolerančni polmer za iskanje vogalnih točk, ki predstavljajo stičišča med seboj pravokotnih fasad. Če je bil izbran premajhen tolerančni polmer, potem v nekaterih vogalnih točkah, v katerih bi morali doseči pravokotnost, ta ni bila dosežena. Če pa je bil izbran prevelik tolerančni polmer, se je pravokotnost pojavila tudi v nekaterih vogalnih točkah, v katerih se fasadi ne stikata pod pravim kotom. Pravokotizacija stavb je torej iterativni postopek, s katerim se približujemo idealiziranim obodom stavb, in ujemanje vnešene a priori ocene z a posteriori oceno standardnega odklona koordinat točk je kriterij za končanje postopka.

Potrebno je posebej poudariti, da v dobljeni oceni niso upoštevane sistematčne napake, ki se pojavljajo v različnih fazah nastajanja digitalne vektorske baze stavb. S postopkom pravokotizacije lahko ocenimo le napake, ki so posledica slučajnih vplivov. Ocena natančnosti koordinat vsake posamezne stavbe se nanaša na težišče njenih vogalnih točk. Dobljena ocena torej ne predstavlja absolutne natančnosti zajema. Če pa želimo oceniti natančnost dolžin fasad ali pa površin stavb, nam dobljena cenilka služi kot zelo primerna osnova.

Vzemimo fasado med dvema zaporednima vogalnima točkama. Dolžina fasade je

$$D = \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2}.$$

Za oceno natančnosti dolžine uporabimo zakon o prenosu varianc in kovarianc (Feil 1990). V našem primeru velja

$$s_D^2 = A \cdot Q \cdot A^T.$$

Pri tem je A vektor parcialnih odvodov dolžine fasade stavbe po koordinatah obeh vogalnih točk, Q pa variančno-kovariančna matrika koordinat vogalnih točk. Q je oblike

$$A = \frac{1}{D} \cdot \begin{bmatrix} x_i - x_{i+1} & y_i - y_{i+1} & x_{i+1} - x_i & y_{i+1} - y_i \end{bmatrix}.$$

Ob predpostavki, da so koordinate vogalnih točk stohastično neodvisne in enako natančne, lahko sedaj standardni odklon dolžine fasade izrazimo v obliki

$$s_D = \frac{s_k}{D} \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2 + (x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2},$$

od koder sledi

$$s_D = s_k \cdot \sqrt{2},$$

kjer je s_k standardni odklon koordinat vogalnih točk.

Na podoben način ocenimo natančnost površin stavb. Za izračun površine uporabimo izraz

$$P = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - x_{i+1}) \cdot (y_i + y_{i+1}),$$

kjer je n število vogalnih točk stavbe. Vektor A je tokrat oblike

$$A = \frac{1}{2} \cdot \begin{bmatrix} y_2 - y_n & x_n - x_2 & y_3 - y_1 & x_1 - x_3 & \cdots & y_1 - y_{n-1} & x_{n-1} - x_1 \end{bmatrix}.$$

Če zopet predpostavimo stohastično neodvisnost in enako natančnost koordinat vogalnih točk, lahko natančnost površine ocenimo z izrazom

$$s_P = \frac{s_k}{2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n ((y_{i+1} - y_{i-1})^2 + (x_{i+1} - x_{i-1})^2)}.$$

Vzemimo sedaj najbolj enostavno obliko stavbe - kvadrat. Naj bo a dolžina stranice tega kvadrata in naj bodo koordinate vogalnih točk kar: $T_1(0,0)$, $T_2(a,0)$, $T_3(a,a)$ in $T_4(0,a)$. Tako najhitreje pridemo do zelo enostavnega izraza za standardni odklon površine kvadrata

$$s_P = s_k \cdot a \cdot \sqrt{2},$$

oziroma če ga izrazimo kar s površino kvadrata

$$s_P = s_k \cdot \sqrt{2 \cdot P}.$$

Ponazorimo to s preglednico 2.

| $S_k \setminus P$ | 10 m ² | 20 m ² | 50 m ² | 100 m ² | 200 m ² | 500 m ² | 1000 m ² |
|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 0,02 m | 0,09 m ² | 0,13 m ² | 0,20 m ² | 0,28 m ² | 0,40 m ² | 0,63 m ² | 0,89 m ² |
| 0,10 m | 0,45 m ² | 0,63 m ² | 1,00 m ² | 1,41 m ² | 2,00 m ² | 3,16 m ² | 4,47 m ² |
| 0,50 m | 2,24 m ² | 3,16 m ² | 5,00 m ² | 7,07 m ² | 10,00 m ² | 15,81 m ² | 22,36 m ² |

Preglednica 2: Standardni odklon površine v odvisnosti od površine in standardnega odklona koordinat (za stavbe kvadratne oblike).

| $s_k \setminus P$ | 10 m ² | 20 m ² | 50 m ² | 100 m ² | 200 m ² | 500 m ² | 1000 m ² |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| 0,02 m | 0,89 % | 0,63 % | 0,40 % | 0,28 % | 0,20 % | 0,13 % | 0,09 % |
| 0,10 m | 4,47 % | 3,16 % | 2,00 % | 1,41 % | 1,00 % | 0,63 % | 0,45 % |
| 0,50 m | 22,36 % | 15,81 % | 10,00 % | 7,07 % | 5,00 % | 3,16 % | 2,24 % |

Preglednica 3: Stopnja relativne površinske natančnosti v odvisnosti od površine in standardnega odklona koordinat (za stavbe kvadratne oblike).

Mera za relativno natančnost površine je kvocient standardnega odklona površine in površine same. Imenujemo jo tudi stopnja relativne površinske natančnosti. Zgornjo preglednico preoblikujemo v prikaz relativnih natančnosti površin stavb, ki jih lahko izrazimo kar v odstotkih (preglednica 3).

S postopkom pravokotizacije stavb lahko torej na a podlagi a posteriori ocene natančnosti koordinat vogalnih točk stavb pridobimo tudi koristne informacije o natančnosti površin zajetih stavb.

6. Sklep

Opisani postopek pravokotizacije stavb je postopek za doseg pravokotnosti stavb z naknadno obdelavo zajete vsebine. Uporaba funkcij, ki nam že med zajemom pomagajo zagotoviti pravokotnost, je nezaželena, ker nam kviri natančnost zajema. Tak način zajema je sporen predvsem zaradi dejstva, da orientacijo stavbe določimo izključno s prvo zajeto fasado, katere izbira je prepuščena operaterju. Največjo natančnost in tudi nepristranskost dobimo v primeru neodvisnega zajema posamezne vogalne točke stavbe. S postopkom pravokotizacije nato z minimalnimi premiki dosežemo pravokotnost v vogalnih točkah stavbe, pri tem pa se v največji možni meri ohranijo položaj, orientacija in velikost stavbe. S takšnim postopkom lahko zaradi pojava nadštevilnih opazovanj, ki so posledica vpeljave pogojev pravokotnosti, izvedemo tudi a posteriori oceno natančnosti dobljene digitalne baze stavb.

Postopek pravokotizacije lahko predvsem zaradi estetskih učinkov uporabljamo v kartografiji velikih meril. Zaradi strogega pristopa in izboljšanja natančnosti bi ga bilo smiselno uporabiti po digitalizaciji topografskih in katastrskih načrtov. Informacije pridobljene z a posteriori oceno natančnosti bi lahko koristno uporabili tudi v nastajajočem katastru zgradb, saj se vse bolj zavedamo, da so podatki uporabni le, če poznamo tudi njihovo kakovost.

Literatura in viri

Bohte, Z. 1991: Numerične metode. Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije. Ljubljana.

Feil, L. 1990: Teorija pogrešaka i račun izjednačenja. Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet. Zagreb.

Jamnik, R. 1980: Matematična statistika. Državna založba Slovenije. Ljubljana.

Jamnik, R. 1995: Verjetnostni račun in statistika. Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije. Ljubljana.

Press, W. H., Flannery, B. P., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T. 1988: Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing, Second Edition. Cambridge University Press. Cambridge.

GEOINFORMACIJSKA PODPORA VREDNOTENJU NE- PREMIČNIN V SLOVENIJI

dr. Maruška Šubic Kovač
Univerza v Ljubljani
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Institut za komunalno gospodarstvo
Jamova cesta 2, Ljubljana
msubic@fgg.uni-lj.si

Izvleček

UDK 347.235:659.2:91(497.4)

Tržne metode vrednotenja se bodo v Sloveniji uveljavile v kratkoročnem obdobju le, če bomo imeli na razpolago dovolj ustreznih podatkov o nepremičninah. To pomeni, da moramo urediti področje registracije nepremičnin in zagotoviti transparentnost delovanja nepremičninskega trga v Sloveniji. Za tržno vrednotenje rabimo tako podatke o delovanju trga nepremičnin kot tudi rezultate analize tega trga. Rabimo torej izvirne in izpeljane baze podatkov. V članku prikazujemo na primeru določanja vrednosti nepremičnine za namene obdavčenja, katere obstoječe vire podatkov rabimo v tem primeru, katere evidence rabimo poleg že obstoječih in katere izpeljane podatke rabimo za ustrezno ocenitev vrednosti nepremičnine v tržnem gospodarstvu.

Ključne besede: nepremičnine, vrednotenje, GIS

Abstract

UDC 347.235:659.2:91(497.4)

Geoinformation support to real-estate evaluation in Slovenia

Market valuation methods can only be brought into force within the short-term period if there are sufficient suitable real-estate data on hand. This means that the real-estate registration area has to be regulated, as well as the Slovene real-estate market operation transparency ensured. In market valuation, data on real-estate market operation, as well as the pertaining market analysis results, are applied. Therefore, original and derived database is required. This article, based on case study, presents real-estate valuation for the taxation proposes, the existing data resources applied in the case study, records used along with the existing ones and, derived data applied in the appropriate real-estate valuation within market economy.

Key words: real-estate, valuation, GIS

1. Uvod

Vrednotenje nepremičnin se v Sloveniji nahaja v prehodnem obdobju iz administrativnega v tržno vrednotenje nepremičnin. Temeljne dileme, ki se je pojavila v začetku devetdesetih let, ali se bo v Sloveniji uveljavilo tržno vrednotenje ali ne, ni več. Vprašanje, ki kljub temu ostaja odprto, je, kdaj se bo tržno vrednotenje nepremičnin uveljavilo.

Za uvedbo tržnega vrednotenja nepremičnin v Sloveniji morajo biti izpolnjeni določeni potrebni pogoji. Med potrebne pogoje za uveljavitev tržnega vrednotenja nepremičnin v Sloveniji lahko štejemo (Šubic Kovač 1997 a):

- normalizacijo razmer na trgu nepremičnin: zaključen proces denacionalizacije in privatizacije nepremičnin ter opredelitev temeljev davčne politike,
- zakonsko opredelitev tržnega vrednotenja nepremičnin,

- uvedbo, vzdrževanje in vodenje evidence nepremičninskih transakcij, vključno z njihovimi cenami in
- ocenitev izhodiščnih vrednosti stavbnih zemljišč.

Med omenjenimi potrebnimi pogoji predstavljajo ustrezni podatki o trgu nepremičnin enega izmed bistvenih vzrokov za to, da se tržne metode vrednotenja nepremičnin v Sloveniji še niso uveljavile.

Dejansko gre za iskanje odgovorov na vprašanja o:

- vrsti potrebnih podatkov,
- sistemu pridobivanja podatkov in
- analizi podatkov,

tako, da bodo uporabni za tržno vrednotenje nepremičnin.

Omenjena vprašanja so seveda vsebinske narave. Kako bo omenjeni način pridobivanja potrebnih podatkov za tržno vrednotenje nepremičnin deloval, ali se bomo uporabljali analogne ali digitalne podatke, pa je vprašanje tehnične narave.

Na področje zagotavljanja ustreznih digitalnih podatkov tudi na področju vrednotenja nepremičnin posega projekt ONIX – podprojekt “Geoinformacijska podpora upravljanju z nepremičninami na lokalni ravni” (v nadaljevanju: GPUN), ki ga izvajata Institut za komunalno gospodarstvo pri Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani in Inštitut za geodezijo in fotogrametrijo iz Ljubljane.

2. Geoinformacijska podpora upravljanju z nepremičninami na lokalni ravni

V preteklosti smo imeli v Sloveniji deklarirane različne evidence, ki so delovale po principu “podatki zaradi podatkov” in niso služile uporabnikom. Zato smo si izvajalci podprojekta postavili na začetku postavili ta vprašanja, na katera bomo skušali odgovoriti:

1. Kaj si predstavljamo pod pojmom nepremičnine?
2. Kaj pomeni upravljanje z nepremičninami in katere upravljske akcije so zato potrebne?
3. Kdo upravlja s posamezno vrsto in skupino nepremičnine?
4. Katere podatke, kdaj in kako bo rabil lastnik nepremičnine, da bo z njo upravljal?

Šele potem, ko bodo znani odgovori na ta vprašanja, bo treba odgovoriti na vprašanja:

1. Od kod bomo potrebne podatke zajemali?
2. Kako in do kakšne natančnosti bomo podatke zajemali?
3. Kako bomo (tako obdelane) podatke posredovali uporabnikom v smislu nudenja geoinformacijske podpore upravljanju z nepremičninami?

Globalni cilj podprojekta je torej zagotoviti operativno podporo postopkom upravljanja in gospodarjenja z nepremičninami v smislu povezav in uporabe informacijskih osnov (katastrov, registrov, evidenc) in opreme, ob uporabi modernih informacijskih tehnologij.

Upravljanje z nepremičninami smo v tem podprojektu definirali kot sklop (sistem) medsebojno povezanih aktivnosti, ki bo:

- zagotavljal varovanje lastnine na nepremičnini,
- trajno zagotavljal njeno funkcionalno in obratovalno sposobnost,
- zagotavljal ohranjanje fizične in finančne substance nepremičnine,

- omogočal lastniku, da v največji možni meri izkoristi vse ekonomske in druge prednosti, ki mu jih nudi nepremičnina, in
- z instrumenti davčne politike vzpodbujal lastnike nepremičnin v zasebni lasti, da bodo tudi te izkoriščene v skladu s svojim ekonomskim potencialom.

Pojem “*nepremičnina*” smo definirali kot zemljišče, vključno z njegovimi sestavnimi in pritiklinami. Zgradba predstavlja bistveno sestavino zemljišča, če je postavljena na zemljišču, na katerem obstaja lastninska pravica.

Predmet proučevanja v tem konkretnem podprojektu pa so:

- predvsem javna infrastruktura na lokalni ravni in
- zazidana in nezazidana stavbna zemljišča v naseljih z več kot 2000 prebivalci.

Drugi robni pogoji, ki jih v projektu upoštevamo, pa so predvsem:

- gradbena parcela v smislu lastninskega kosa,
- lastnik nepremičnine je znan (kar v praksi še ne drži povsem),
- upoštevanje principov:
 - deregulacije,
 - decentralizacije odločanja in
 - princip subsidiarnosti.

Projekt izhaja iz analiz uporabnikov podatkov in njihovih potreb. Pri tem smo še posebej upoštevali potrebe upravnih organov (oddelkov) na lokalnem nivoju in izvajalcev gospodarskih javnih služb na lokalnem nivoju.

Eden izmed najpomembnejših podatkov, ki zanima upravljalca nepremičnin na lokalnem nivoju v tržnem gospodarstvu je vsekakor *podatek o tržni vrednosti nepremičnine*. Sistema tržnega vrednotenja nepremičnin v Sloveniji še nimamo, zato v nadaljevanju opredeljujemo nekatere bistvene elemente, ki morajo biti znani pred vzpostavitvijo geoinformacijske podpore tržnemu vrednotenju nepremičnin.

3. Tržno vrednotenje nepremičnin in geoinformacijska podpora

Geoinformacijske podpore tržnemu vrednotenju nepremičnin ne moremo vzpostaviti, če nimamo definiranega:

- predmeta vrednotenja,
- vrednosti, ki jo ocenjujemo, in
- načinov ocenjevanja te vrednosti.

Šele na podlagi tega lahko ugotovimo, katere podatke rabimo za ocenitev tržne vrednosti nepremičnine.

V Sloveniji nimamo trenutno ustrezno definiranega ne predmeta vrednotenja, ne vrednosti in ne načinov ocenjevanja te vrednosti. Zato smo jih v sklopu projekta ONIX posebej za te namene definirali.

V projektu smo izhajali iz predpostavke, da mora metodologija tržnega vrednotenja nepremičnin v Sloveniji:

- upoštevati tuje metodološke izkušnje glede samih metod vrednotenja nepremičnin in priporočila mednarodnih združenj na tem področju (npr. TEGO-VA, Approved European Property Valuation Standards),
- vključevati specifičnosti nepremičninskega trga v Sloveniji

- temeljiti na analizi nepremičninskega trga, še predvsem cen, stroškov in najemnin za nepremičnine in
- biti relativno enostavna za uporabo.

Metode tržnega vrednotenja, ki jih predlagana metodologije upošteva, so splošno znane. To so: metoda neposredne primerjave cen podobnih nepremičnin, metoda donosa in stroškovna metoda (Šubic Kovač 1997 b).

Podatek o tržni vrednosti nepremičnine rabimo pri prodaji, najemu, dedovanju, zavarovanju, trgovanju, razlaščanju, obdavčenju nepremičnine in podobno. Naročnik podprojekta GPUN je podprojekt usmeril predvsem v izvedbo geoinformacijske podpore obdavčenju nepremičnin v Sloveniji. Zato v nadaljevanju prikazujemo na primeru vrednotenja nepremičnin *za namene obdavčenja*, priporočljive metode vrednotenja nepremičnin in vrsto podatkov, ki so za to potrebni, ter način pridobivanja in analize podatkov.

4. Primer tržnega vrednotenja nepremičnin za namene obdavčenja

Predpostavljali smo, da bo tržna vrednost predstavljala davčno osnovo za odmero davka za nepremičnine v Sloveniji. Uvedbo obdavčenja nepremičnin v delu, ki se nanaša na ocenitev tržne vrednosti nepremičnin, lahko v Sloveniji izpeljemo po naslednjih korakih:

1. opredelitev predmeta vrednotenja, tržne (obdavčljive) vrednosti in metod vrednotenja posameznih nepremičnin,
2. določitev načina ocenjevanja prvih tržnih (obdavčljivih) vrednosti na podlagi podatkov, ki so dostopni iz obstoječih evidenc in virov,
3. določitev načina ocenjevanja tržnih (obdavčljivih) vrednosti na podlagi podatkov, zbranih v evidencah, ki se bodo vzpostavile, vzdrževale in vodile v prihodnosti za namene obdavčenja,
4. analiza trga nepremičnin v določenih obdobjih in izračun nekatere vrednosti in intervalov vrednosti, ki se uporabljajo pri določanju tržne (obdavčljive) vrednosti za celotno državo,
5. oblikovanje obrazcev, na podlagi katerih bodo referenti v posameznih davčnih izpostavah lahko sami izračunali tržno (obdavčljivo) vrednost nepremičnine v času, ki ga bo predpisal zakon (kritični čas ocenjevanja: valuta oziroma dan ocenjevanja).

Predmet vrednotenja in vrednost, ki se ocenjuje, smo definirali takole (Šubic Kovač 1997 b):

- *Predmet ocenjevanja* je zemljišče, vključno z njegovimi sestavinami, in pri-tikline.
- *Tržno vrednost nepremičnine* predstavlja cena, ki bi jo nepremičnina glede na njeno kakovost najverjetneje dosegla na dan ocenjevanja v običajnem poslovnem prometu.

Kakovost nepremičnine določajo faktorji, ki vplivajo v obravnavanem času in prostoru na njeno vrednost.

Običajni poslovni promet je označen z obnašanjem slehernega udeleženca na trgu nepremičnin pri pogajanjih o ceni nepremičnine. Opredelimo ga iz povprečnega obnašanja

udeležencev pri oblikovanju cen nepremičnin v določenem prostoru in času.

V samem zakonu je treba predmet vrednotenja in kakovost nepremičnine ter običajni poslovni promet še podrobneje opredeliti.

Metodologija tržnega vrednotenja za namene obdavčenja je zasnovana glede zbiranja podatkov *na dveh ravneh*:

- na državni ravni in
- na lokalni ravni.

Na državni ravni gre za analizo trga nepremičnin v prvi fazi v nekaterih značilnih naseljih v Sloveniji, v drugi fazi pa v vseh tistih naseljih, kjer se bodo izvedle transakcije nepremičnin. Rezultati, dobljeni na podlagi analize takih podatkov, so uporabni za ocenjevanje tržne vrednosti nepremičnine v celotni Sloveniji. Ker so vezani na značilnosti tipične nepremičnine, predstavljajo (tržno) vrednost tipične nepremičnine.

Na lokalni ravni je treba opraviti vse tiste prilagoditve v značilnostih nepremičnin, ki niso bile opravljene na državni ravni in bistveno vplivajo na tržno vrednost nepremičnine. Ker so te prilagoditve od naselja do naselja v Sloveniji lahko zelo različne, lahko samo primeroma prikažemo nekatere izmed njih, ne moremo pa vključiti v analizo vseh. Te prilagoditve opravijo cenilci sami.

Predlagana metodologija ocenjevanja tržne vrednosti nepremičnin ima tele *bistvene korake*, ki jih v posameznih primerih točneje opredeljujemo (Šubic Kovač 1997 b):

- Izbor faktorjev, ki vplivajo na tržno ceno nepremičnine in določitev tipične nepremičnine, ločeno za posamezne vrste nepremičnine.
- Analiza vpliva faktorjev na tržno ceno nepremičnine in določitev faktorjev, ki značilno vplivajo na tržno ceno nepremičnine.
- Določitev vrednosti tipične nepremičnine.
- Upoštevanje drugih faktorjev, ki niso zajeti v prejšnji analizi, ter povprečno razmerje med ocenjeno vrednostjo in dejansko tržno ceno ocenjevanje nepremičnine v procesu ocenjevanja tržne vrednosti nepremičnine.
- Ocenitev tržne vrednosti nepremičnine.

4.1. Metode in potrebni podatki za izračun tržne vrednosti nepremičnine za namene obdavčenja (Šubic Kovač 1998 b)

4.1.1. Metoda neposredne primerjave cen podobnih nepremičnin

Temeljna metoda ocenjevanja tržne vrednosti nepremičnine v Sloveniji je metoda (ne)posredne primerjave cen podobnih nepremičnin.

V Sloveniji so to predvsem:

- nezazidana stavbna zemljišča,
- zazidana stavbna zemljišča, na katerih so eno-, dvo- ali večstanovanjske stavbe in
- pogojno za mešane (poslovno-stanovanjske) in poslovne stavbe, če se te prodajajo na trgu.

Potrebni podatki pri ocenjevanju tržne vrednosti nezazidanih stavbnih zemljišč: površina zemljišča, raba zemljišča, lega zemljišča, oddaljenost od večjega naselja, razvojna stopnja nezazidanega stavbnega zemljišča, komunalna opremljenost zemljišča,

način urbanistične obdelave, transakcijske cene podobnih nepremičnin, ki vsebujejo omenjene attribute, osebne in neobičajne okoliščine, ki so vplivale na ceno.

Potrebni podatki pri ocenjevanju tržne vrednosti zazidanih stavbnih zemljišč za eno, dvo ali večstanovanjske stavbe: *zemljišče* (površina, stopnja komunalne opremljenosti, lega, raba, oddaljenost od večjega naselja), *stavba* (leto izgradnje, način rabe, vrsta financiranja, oprema, število stanovanj, število nadstropij, površina stanovanjske stavbe, površina stanovanja, število sob, lega stanovanja, vrsta instalacij, gradbeno stanje stavbe, zunanja ureditev, transakcijske cene podobnih nepremičnin, ki vsebujejo omenjene attribute, osebne in neobičajne okoliščine, ki so vplivale na ceno).

Za mešane (poslovno-stanovanjske) in poslovne stavbe, če se te prodajajo na trgu, se smiselno uporabljajo prej omenjeni atributi.

4.1.2. Metoda donosa

Kadar nimamo na razpolago podatkov o cenah nepremičnin, pretežni del nepremičnin pa dajejo lastniki v najem, uporabljamo metodo donosa. V Sloveniji so to predvsem zazidana stavbna zemljišča, na katerih so poslovno-stanovanjske in poslovne stavbe, če se te praviloma dajejo v najem in druge stavbe, ki se dajejo praviloma v najem, kot na primer stavbe za obrtno dejavnost.

Pri ocenjevanju tržne vrednosti teh stavbnih zemljišč se smiselno uporabljajo prej omenjeni atributi, vključno s podatki o višini najemnine, stroških lastnika.

Obrestna mera za nepremičnino: transakcijske cene podobnih nepremičnin, ki vsebujejo omenjene attribute, osebne in neobičajne okoliščine, ki so vplivale na ceno oziroma najemnino, razmerje tržna vrednost nepremičnine (ocenjena vrednost nepremičnine na podlagi donosa; izpeljava iz tipičnih nepremičnin in rezultat posebne analize).

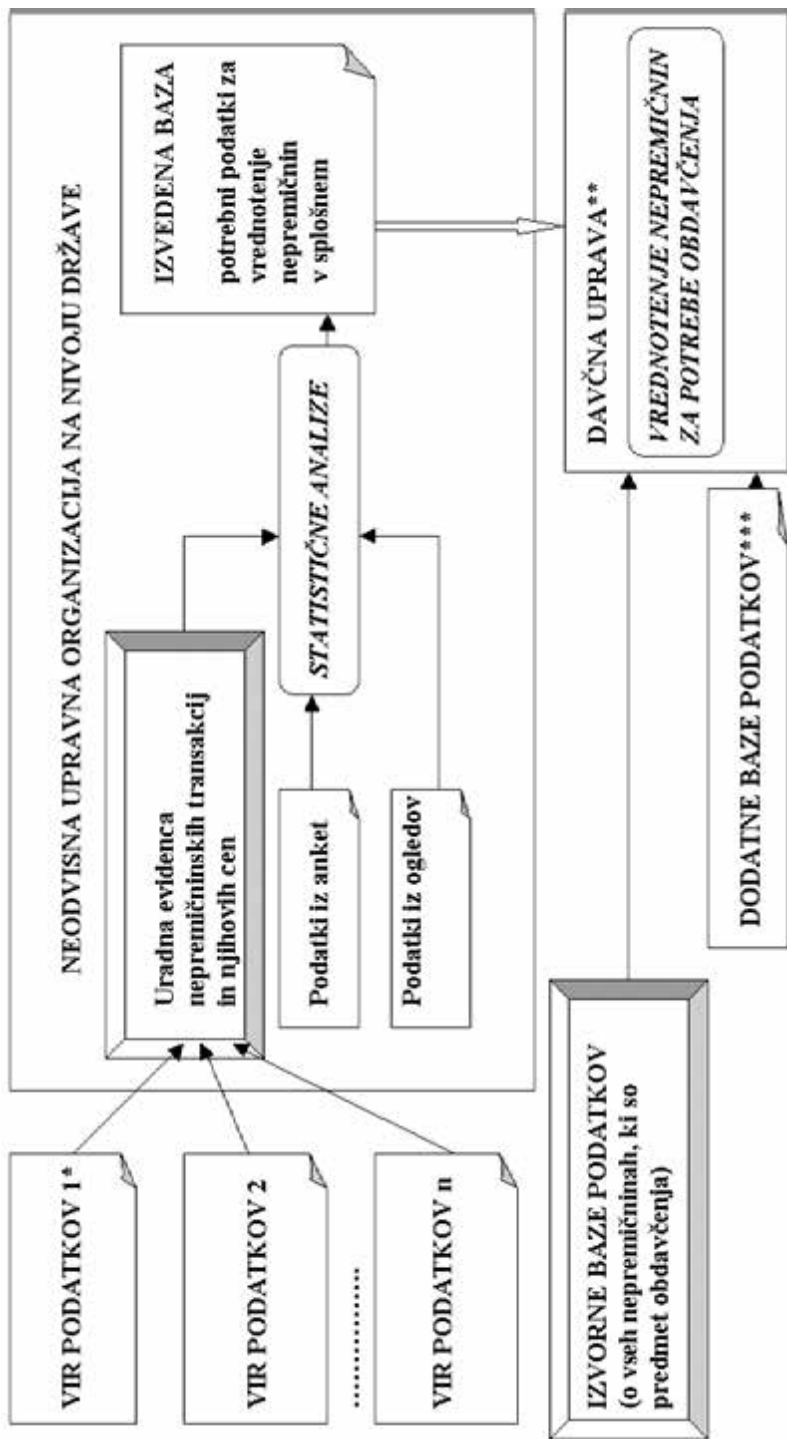
4.1.3. Stroškovna metoda

Kadar ne moremo uporabiti nobene od naštetih dveh metod, to pomeni da se nepremičnina praviloma ne prodaja na trgu in jo praviloma uporablja lastnik, šele potem lahko uporabimo stroškovno metodo. V Sloveniji so to predvsem zazidana stavbna zemljišča, na katerih so stavbe za obrtno dejavnost, industrijske stavbe in druge stavbe za specifične namene.

Potrebni podatki pri ocenjevanju tržne vrednosti teh stavbnih zemljišč: *rezultati posebne analize stroškov gradnje po posebni metodologiji* (stroški 1 m³ obzidane površine, stroški zunanjih naprav in delov objekta, drugi stroški povezani z gradnjo), *indeks stroškov gradnje* (stroški gradnje v letu t, stroški gradnje v letu t+1), *razmerje tržna vrednost nepremičnine* (ocenjena stvarna vrednost nepremičnine – izpeljava iz tipičnih nepremičnin), *površina oziroma volumen objekta* (življenjska doba stavbe – rezultat posebne analize), *pomanjkljivosti in škode*.

Poudarimo še enkrat:

- da predlagani atributi predstavljajo prvo aproksimacijo podatkov za ocenjevanje tržne vrednosti nepremičnin za namene obdavčenja, katerih nujnost zbiranja moramo še dokazati:
 - ali so dejansko potrebni za vrednotenje ali ne in
 - katere nivoje teh podatkov lahko predvidimo za obdavčenje nepremičnin v Sloveniji,



Slika 1: Viri podatkov, neodvisna upravna organizacija in uradna evidenca nepremičninskih transakcij in njihovih cen (* vir podatkov: pogodbe pri overitvi ali pri vpisu v zemljiško knjigo na nivoju izpostav DURS ali zemljiške knjige; **davčna uprava: oziroma organ, ki bo vrednotil nepremičnine za potrebe obdavčenja; ***dodatne baze podatkov: omenjeni organ lahko na lokalnem nivoju upošteva pri vrednotenju nepremičnin za potrebe obdavčenja tudi druge faktorje, ki se na državnem nivoju niso).

- da je metoda neposredne primerjave cen podobnih nepremičnin tista, ki bi jo morali praviloma uporabljati pri vrednotenju nepremičnin za namene obdavčenja.

Aplikativna faza GPUN bo pokazala, katere metode in atributi so potrebni za vzpostavitev sistema obdavčenja nepremičnin v Sloveniji.

5. Pridobitev in analiza potrebnih podatkov

Pri vrednotenju nepremičnin za potrebe obdavčenja ločimo dve fazi:XX??

1. priprava ustreznih podatkov za vzpostavitev izvedene baze podatkov kot podlage za vrednotenje nepremičnin v *splošnem* in
2. priprava ustreznih podatkov za potrebe vrednotenja posamične nepremičnine za *potrebe obdavčenja*.

Viri podatkov in podatki sami so v obeh fazah različni.

Po predlagani metodologiji rabimo za izvedbo obdavčenja:

- izvirne baze podatkov
- dodatne baze podatkov in
- izvedene baze podatkov.

Med izvirne baze podatkov štejemo baze podatkov, ki so vzpostavljene že za druge namene, njihove podatke pa uporabimo tudi pri vrednotenju nepremičnin za potrebe obdavčenja. Med te uvrščamo:

- zemljiško knjigo,
- zemljiški kataster.

Ti podatki so neposredno uporabni za vrednotenje nepremičnin.

Poleg teh rabimo še dodatne baze podatkov. Podatke za te baze dobimo na podlagi:

- pogodb,
- anket in
- ogledov na terenu.

Na podlagi podatkov iz izvornih baz podatkov in dodatnih baz podatkov vzpostavimo izvedeno bazo podatkov. To dobimo z analizo zbranih podatkov. Izvedena baza podatkov nudi podatke za vrednotenje nepremičnin (slika 1).

5.1. Neodvisna upravna organizacija in uradna evidenca nepremičninskih transakcij in njihovih cen

Za pridobitev ustreznih podatkov za tržno vrednotenje nepremičnin rabimo evidenco nepremičninskih transakcij in njihovih cen, ki bo vzpostavljena pri neodvisnem upravnem organu. Podobno evidenco imajo vzpostavljeno tudi v Nemčiji (Šubic Kovač 1998 b).

Neodvisna upravna organizacija spremlja trg nepremičnin in pripravlja podatke za vrednotenje nepremičnin v splošnem. Trg nepremičnin spremlja na podlagi podatkov iz pogodb in posebnih obrazcev, ki morajo biti pogodbam pri overovitvi oziroma vpisu v zemljiško knjigo obvezno priloženi. Poleg teh pridobiva podatke tudi s pomočjo anket in ogledov na terenu. Na podlagi tako zbranih podatkov lahko izvaja statistične analize o trgu nepremičnin in na podlagi tega pripravlja potrebne podatke za vrednotenje nepremičnin v splošnem. Tako pripravljene podatki so primerni (tudi) za vrednotenje nepremičnin za potrebe obdavčenja nepremičnin. Poleg teh pa je potrebno v vrednotenje vključiti še

podatke iz izvornih baz in morebitne dodatne baze podatkov.

Za vzpostavitev uradne evidence nepremičninskih transakcij in njihovih cen v Sloveniji moramo upoštevati tale izhodišča:

- Zakonska opredelitev tržnega načina vrednotenja zemljišč predstavlja samo potreben, ne pa tudi zadosten pogoj za uveljavitev tržnega vrednotenja stavbnih zemljišč. Poleg ostalih pogojev je za uveljavitev tržnega vrednotenja nepremičnin v Sloveniji potrebna uradna evidenca transakcij z nepremičninami in njihovimi cenami.
- Glede na opisane izkušnje iz Nemčije bi morali tudi pri nas opredeliti, da tako uradno evidenco lahko vodi samo neodvisna upravna organizacija, ki nima lastnih interesov na trgu zemljišč ne kot kupec in ne kot prodajalec zemljišč.
- Seveda obstajajo ob tej uradni evidenci tudi zasebne evidence cenilcev nepremičnin in nepremičninskih društev, vendar nimajo značaja uradne evidence. Uradna evidenca je lahko ena sama, torej enotno oblikovana za celotno državo. Več zasebnih evidenc vodi le k neenotnemu ocenjevanju tržnih vrednosti zemljišč. Podatki in rezultati, ki izhajajo iz te evidence, predstavljajo referenčne vrednosti za tržno vrednotenje nepremičnin.
- Zaradi relativno majhnega števila nepremičninskih transakcij v Sloveniji in neizkušenosti v zvezi z delovanjem trga nepremičnin v Sloveniji, menimo, da bi lahko tako neodvisno upravno organizacijo v Sloveniji ustanovili najprej samo na nivoju države.

Med potrebne ukrepe za vzpostavitev, vzdrževanje in vodenje evidence zemljiških transakcij in cen zemljišč, ki so bila v prometu, štejemo:

- ustanovitev neodvisne upravne organizacije, ki bo to evidenco vzpostavila, vzdrževala in vodila,
- izobraževanje strokovnjakov za vzpostavitev, vzdrževanje in vodenje te evidence ter strokovnjakov za analizo zbranih podatkov,
- uvedba enotnih obrazcev za vpis podatkov,
- obvezno posredovanje teh obrazcev neodvisni upravni organizaciji, vključno s pripadajočimi sankcijami,
- zagotovljeno javnost rezultatov,
- predpisano tržno vrednotenje zemljišč ter uporabo podatkov in rezultatov, ki izhajajo iz te evidence, kot referenčnih vrednosti, vključno s pripadajočimi sankcijami.

Če želimo stalno spremljati razmere na trgu zemljišč, je potrebno zakonsko opredeliti obvezno posredovanje teh obrazcev neodvisni upravni organizaciji, vključno s sankcioniranjem. Sankcioniranje se lahko izvaja pri overovitvi kupoprodajne pogodbe ali pri vpisu v zemljiško knjigo.

Rezultati analize podatkov iz evidence morajo biti javni in dostopni vsem udeležencem na trgu zemljišč. Javnost rezultatov vpliva na zmanjšanje odklona ocenjenih vrednosti zemljišč (tako s strani prodajalcev kot cenilcev) od cen zemljišč, ki se realizirajo na trgu.

Pri vzpostavitvi, vzdrževanju in vodenju te evidence lahko sodelujejo strokovnjaki

iz različnih področij, ki se bodo morali še dodatno izobraziti na tem področju. Prav tako je treba dodatno izobraziti strokovnjake za analizo trga nepremičnin.

6. Sklep

GPUN bo v praksi v Sloveniji zaživel le, če bodo izpolnjeni potrebni pogoji za njegovo realizacijo. Za uveljavitev predlaganega načina obdavčenja rabimo ustrezno zakonsko podlago, ki bo poleg predpisanega načina vrednotenja naložila določenim institucijam tudi obveznost posredovanja podatkov. Ne nazadnje bo potrebno ustanoviti neodvisno upravno organizacijo, ki bo zagotavljala uradne podatke o razmerah na trgu nepremičnin, ki so potrebni za tržno vrednotenje nepremičnin.

Geoinformacijska podpora obdavčenju nepremičnin predstavlja v Sloveniji eno od možnosti pri uvajanju obdavčenja nepremičnin na podlagi tržne vrednosti. Na mednarodni konferenci s področja nepremičnin (International Real Estate Conference) v Maastrichtu junija 1998 so se tuji strokovnjaki (Rod Jefferies 1998) strinjali, da je treba v Sloveniji najprej dobro rešiti vprašanja vsebinske narave (Almirall 1998). V obravnavanem primeru to pomeni, da moramo najprej rešiti vprašanje sistema vrednotenja nepremičnin in načina pridobivanja podatkov za namene obdavčenja. Izkušnje so namreč pokazale (na primer v Novi Zelandiji), da v nasprotnem primeru geoinformacijska podpora ničemur ne služi.

Literatura in viri

- Almirall, G.P. 1998: *Optimising urban valuation models through the use of Geographical Information Systems. International Real Estate Conference. Maastricht.*
- Jefferies, R. 1998: *Recenzija članka (Šubic Kovač 1998 a). Maastricht.*
- Šubic Kovač, M., 1996: *Ocenjevanje tržne vrednosti stavbnih zemljišč. Ministrstvo za pravosodje Republike Slovenije. Ljubljana.*
- Šubic Kovač, M. 1997 a: *Vrednotenje stavbnih zemljišč. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Institut za komunalno gospodarstvo. Ljubljana.*
- Šubic Kovač, M. 1997 b: *Izbor metodologije in najprimernejšega pristopa tržnega vrednotenja nepremičnin. Zbornik referatov konference ONIX, Geoinformacijski center. Bled.*
- Šubic Kovač, M. 1998 a: *Inertia of the Administrative and Introduction of Marketing Real Estate Valuation: Case Study of Slovenia. International Real Estate Conference. Maastricht.*
- Šubic Kovač, M. 1998 b: *Potrebni atributi za ocenjevanje tržne vrednosti nepremičnin v procesu obdavčenja nepremičnin. Zbornik referatov konference ONIX, Geoinformacijski center. Maribor.*

KAKOVOST DIGITALNEGA MODELA RELIEFA NA PRIMERU ENOSTAVNE HIDROLOŠKE ANALIZE

mag. Matjaž Ivačič
MOP URSP

Služba za prostorski informacijski sistem
Dunajska 47, Ljubljana
matjaz.ivacic@gov.si

Izveček

UDK 528:659.2:91

V prispevku je obravnavan problem natančnosti prostorskih podatkov o zemeljski površini. Na primeru izdelave digitalnega modela reliefa, in iz njega izračunanih območij povodij, je prikazan vpliv napak na rezultate prostorskih analiz. Izračunani sta verjetnost in statistična korelacija za posamezne vmesne faze prostorske analize. Za ugotavljanje napak v digitalnem modelu reliefa je predlagana vizualna kontrola ob pomoči reliefne karte.

Ključne besede: GIS, kakovost, prostorski podatki, DMR, hidrologija

Abstract

UDC 528:659.2:91

*The quality of digital terrain model on the case of basic hydrology analysis
In this paper the problem of accuracy of relief spatial data is described. Digital terrain model is calculated and used for determination of drainage basins. The probability and spatial correlation is calculated for each phase of spatial analysis. Visualization of relief is proposed as a method for correction of some error types in digital terrain model.*

Key words: GIS, data quality, spatial data, DTM, hydrology

1. Uvod

Pred desetimi leti večina strokovnjakov prostorskih ved še ni poznala izraza geografski informacijski sistem, ki je postal danes tako široko uveljavljen v krogu prostorskih znanosti. Lahko razpravljamo o tem ali je to znanost, tehnologija, programska oprema, koncept, organizacija ali vse skupaj. Pomembneje je, da je GIS nepogrešljiv večini strokovnjakov, ki se v širšem pomenu te besede ukvarjajo s prostorom. V prispevku ne bomo raziskovali možnosti, ki jih ponuja ta svojevrsten "prostorski" fenomen, ampak bomo na konkretnem primeru osvetlili nekatere probleme, na katere naletimo pri različnih prostorskih analizah. Na primeru bo prikazan tesen odnos med prostorskimi podatki in njihovo kakovostjo. Tu gre za napake, ki jih dnevno srečujemo v podatkovnih zbirkah in možne napačne zaključke ob neupoštevanju omejene kakovosti posameznih podatkovnih zbirk.

Najprej se osredotočimo na dva izraza, ki sta ključna za nadaljnje razumevanje. Prostorski podatki in kakovostni prostorski podatki. Model stvarnega prostora se v najpogostejših GIS programih reprezentira prek številnih slojev rastrskih in vektorskih datotek. Ti sloji so pogosto zastareli že v tistem trenutku, ko jih vnesemo v podatkovno zbirko. Dandanes ni več težko dobiti prostorskih podatkov, ki predstavljajo določen prostorski pojav, teže je dobiti primerno kakovostne prostorske podatke. O tem, kakšni so kakovostni prostorski podatki, pravi enostavna, a kljub temu jasna, definicija: "Kakovostni prostorski podatki so tisti, ki popolnoma zadostijo potrebam uporabnika". To pa je včasih lažje napisati, kot uresničiti.

V predstavljenem primeru bodo uporabljeni podatki o reliefu Slovenije, kjer lahko izbiramo med več podatkovnimi zbirkami v rastrski ali vektorski obliki. Pri izdelavi državne topografske karte TK 25 so bile plastnice enakih višin že enkrat izvedene iz stereoparov fortogrametričnih posnetkov in zato predstavljajo dokaj natančen in podroben prikaz reliefa. Upoštevati je treba seveda določene omejitve, ki so zaradi kartografskih namenov predvsem v manjkajočih plastnicah na območjih večjih naklonov. V opisanem primeru so bile uporabljene prav te plastnice, ki v vektorski obliki tvorijo podatkovno zbirko, ki jo na Geodetski upravi imenujejo generalizirana kartografska baza GKB.

V nadaljevanju članka bo omejitev GIS tehnologije predstavljena na primeru enostavne prostorske analize, temelječe na realnih podatkih, pridobljenih na Geodetski upravi RS in izdelane s pomočjo široko uveljavljene GIS programske opreme. Na primeru je prikazano naslednje:

- Izbrani so bili realni prostorski podatki in iz njih izvedena prostorska analiza
- Zaradi napake v osnovni zbirki podatkov je prišlo do spremembe rezultatov.
- Izdelana je primerjava med osnovnimi in popravljenimi podatki.
- Zaradi zahtevnosti večine testov ugotavljanja natančnosti prostorskih podatkov je uporabljena tudi enostavna metoda: izračun statistične kovariance (Veregin 1989)
- V zaključku je predlagana vizualizacija kot primerna metoda ugotavljanja grobih napak v podatkovnih zbirkah, ki ponazarjajo relief.

2. Opis postopka določitve povodij

Predstavljena prostorska analiza sodi na področje proučevanja voda in vodotokov. S pomočjo modela reliefa in sistemskih algoritmov smo določili prispevne površin posameznega vodotoka oziroma povodja. Analizo sestavljajo naslednji osnovni koraki

- Izdelava vektorskega sloja izolinij iz generalizirane kartografske baze (GKB25), (GURS 1997)
- Izdelava rastrskega modela reliefa na osnovi višin plastnic (ArcInfo, TopoGrid)
- Izdelava rastrskega sloja o smeri odtoka za vsako celico (ArcInfo, Flowdir)
- Izdelava rastrskega sloja prispevnih površin (ArcInfo, Basins)

3. Izračun natančnosti modela reliefa v vektorski obliki

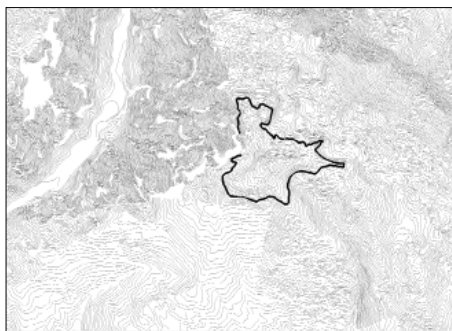
Testno območje velikosti 7 x 5 km, leži na italijansko slovenski meji v okolici Matajurja. Malo pod njegovim vrhom je plastnica, ki ima v vektorskem zapisu vpisano napačno vrednost. Namesto 1460 m je zabeleženo 1490. Napaka kot taka, niti ni posebej pomembna. V večini običajnih testov, ki ugotavljajo natančnost modela reliefa, bi dobili kljub temu dokaj visoko oceno kakovosti. Predpostavljamo, da je napaka samo v eni od plastnic in da so ostale višine pravilne. Odstotek pravilno definirane površine je izračunan na sledeč način:

Skupna površina (A) testnega modela reliefa: $7 \times 5 \text{ km} = 35 \text{ km}$,

Dolžina plastnice z napako: 6850 m

Ocena povprečne razdalja med plastnicami na testnem reliefu: 80 m

Površina (A'), ki jo določa plastnica z napačno višino: $6850 \text{ m} \times 80 \text{ m} = 0,548 \text{ km}$,



Slika 1: Prikaz plastnic na območju Matajurja s poudarjeno plastnico napačne višine.

Indeks (razmerje med pravilno in celotno površino) predstavljenega reliefa:

$$(A - A')/A = (35 - 0,548)/35 = 0,984$$

4. Izračun višinske natančnosti rastrskega modela reliefa

Digitalni model reliefa z velikostjo celice 10 m, je bil izpeljan iz vektorskih plastnic z vgrajenim algoritmom (TopoGrid), ki atributne vrednosti plastnic prevede v rastrsko obliko. Digitalni model reliefa bi se dalo z dodatnimi parametri tudi izboljšati, kar pa ne bi vplivalo na sam postopek. Algoritem je enak za popravljeno in prvotno podatkovno zbirko, zato ne vpliva na primerjavo natančnosti uporabljenih modelov. Upoštevati je treba, da pride zaradi spremembe višine plastnice in zaradi načina izračunavanja višin do sprememb pri izračunanem reliefu tudi na bolj oddaljenih lokacijah, predvsem na območjih večjega naklona, kjer plastnice niso zajete in na ravnih območjih, kjer so redkejšje.

Predpostavili smo, da ima vektorski sloj eno samo napako in da po njeni odpravi, dobimo pravilne vrednosti. V tem primeru lahko izračunamo indeks sprememb med prvotnim in popravljenim modelom reliefa:

Zaradi primerjave z vektorskim modelom, bo za določitev razmerja med pravilno definirano in celotno površino uporabljena enačba:

B - število celic v teoretično pravilnem modelu reliefa = 351201

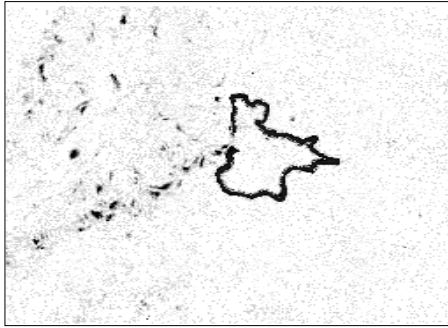
B' - število celic v z napačnimi vrednostmi (več kot 2 m razlike): 5786

$$(B - B')/B = (351201 - 5786) / 351201 = 0,98$$

Ta vrednost je tudi verjetnost, da na določeni lokaciji dobimo višinsko vrednost pričakovane natančnosti.

Izračun vrednosti statistične kovariance (ArcInfo, Correlation):

$$c = 0,9999$$



Slika 2: Vizualizacija razlik med rastrskima modeloma reliefa. V črni barvi so prikazane razlike večje od 2 m.

5. Izračun opisne natančnost za model z vrednostmi smeri odtoka

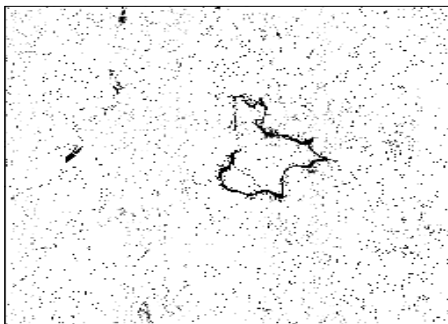
Pri izračunu prispevnih površin je potrebno izračunati smer odtoka vode za vsako posamezno celico (sistemska funkcija - flowdir). Uporabljena metoda je opisana v priročniku uporabljene GIS programske opreme ima teoretično ozadje v tovrstni strokovni literaturi (Greenlee 1987, Jenson in Domingue 1988). Vrednosti za posamezno celico imajo razpon med 0 in 255. S temi vrednostmi je opisana smer odtoka vode. Indeks razmerja med popravljenimi in osnovnimi vrednostmi je naslednji:

$$(C - C') / C = (351201 - 12789) / 351201 = 0,96$$

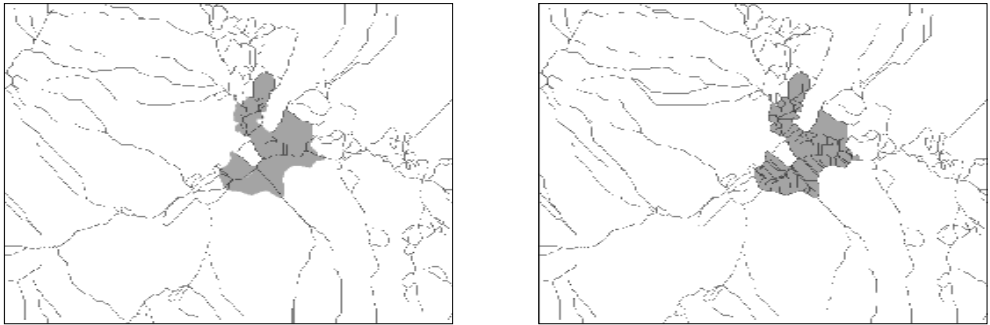
Statistična kovarianca:

$$C = 0,9714$$

Na sliki 3 lahko opazimo tudi, da se razlike pojavljajo v območju napačne plastnice in na ravnem, medtem, ko se v strminah razlike zmanjšujejo. Kljub različnim vrednostim višin je zaradi večjega naklona manjša izbira smeri odtoka.



Slika 3: Prikaz razlik v smeri odtoka vode.



Slika 4: Primerjava razlik med izračunanimi povodji. Območje največjih razlik je označeno s sivo barvo.

6. Izračun natančnosti za površine povodij

Povodja so bila določena s sistemsko funkcijo (ArcInfo, Basins), ki vsakemu povodju priredi vrednost, ki je ne moremo primerjati z vrednostmi v drugi rastrski datoteki. Prav zato v tem primeru primerjava obeh rastrskih datotek ne potrди razlik v vsebini.

Statistična kovarianca:

$$c = 0,9799$$

Za vizualno primerjavo je bil zato izdelan vektorski sloj območij, kjer lahko primerjamo povodja med seboj. Na sliki 4 so prikazana območja povodij in s sivo barvo označena območja, ki so pod vplivom napačne osnovne vrednosti.

Desna slika predstavlja teoretično pravilna povodja, na levi pa povodja, ki izhajajo iz napačne vrednosti v osnovnem sloju plastnic.

Izračunana je tudi verjetnost, da je določeno območje pravilno definirano.

$$(D - D') / D = (351201 - 14200) / 351201 = 0.96$$

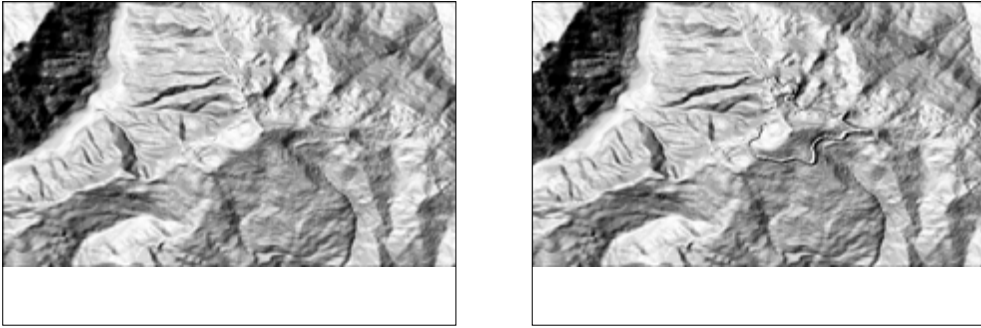
Razvodnice (meje povodij) so navidezne linije v prostoru, ki so za določene stroke zelo uporabne. Prav pri izračunu dolžin razvodnic in statistični korelaciji razvodnic pride do bistvene razlike v rezultatih.

Skupna dolžina razvodnic E: 167730 m

Skupna dolžina razvodnic : 187240 m

Razlika v dolžini: E' : 19510 m

$$(E - E') / E = (167730 - 19510) / 167730 = 0.8836$$



Slika 5: Na reliefni karti je napaka v višini plastnice dobro razvidna.

Pri pretvorbi razvodnic v rastrsko datoteko se zmanjša tudi statistična korelacija na vrednost:

$$c = 0.8454$$

O uporabnosti tovrstnih rezultatov ni treba izgubljati besed.

7. Vizualizacija reliefa kot možen način odkrivanja napak v reliefu

Obstajata več načinov uporabe vizualizacije na področju kakovosti prostorskih podatkov. Najosnovnejši je pristop, ko vizualno prikažemo kje v prostoru so napačne vrednosti locirane. Poleg tega lahko prikažemo tudi intenziteto napačnih vrednosti. Dobra osnova za študij tovrstne problematike je zaključno poročilo o vizualizaciji kakovosti prostorskih podatkov (NCGIA 1994).

V opisanem primeru je uporabljena možnost vizualizacije, ko lahko na podlagi izdelane reliefne karte in nenavadnih vzorcev, ki se na kart pojavljajo, lahko sklepamo na napako v podatkovni zbirki. Brez referenčne in natančnejše podatkovne zbirke je avtomatsko ugotavljanje takšnih napak zelo zahtevno. Z vizualizacijo in interaktivnim delom lahko večino grobih napak odkrijemo zelo hitro. V opisanem primeru lahko primerjamo obe karti reliefa. Na levi je reliefna karta prek korekcijo višine in na desni po njej.

8. Sklep

Delo z različnimi GIS programi omogoča uporabo velikega nabora analitičnih funkcij za razumevanje prostorskih pojavov in procesov. Pri tem moramo poleg strokovnosti, ki ga od nas zahteva posamezno področje dela, upoštevati tudi določena znanja o lastnostih prostorskih podatkov, o natančnosti in podobno. Vsa ta orodja potrebujejo primerno kakovostne prostorske podatke. Uporabljati jih morajo usposobljeni strokovnjaki, rezultate analiz pa je treba primerno strokovno ovrednotiti.

Opisan primer je poskus v katerem skušamo pokazati na potrebnost ugotavljanja kakovosti prostorskih podatkov, na vpliv napak pri prostorskih analizah in na možnost vizualizacije za predhodno preveritev in odpravo grobih napak v podatkovnih zbirkah reliefa.

Literatura in viri

- Geodetska uprava RS, 1997: Generalizirana kartografska baza, Plastnice topografske karte TK 25.*
- Greenlee, D.D. 1987: Raster and Vector Processing for Scanned Linework. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.53, No.10, October 1987.*
- Jenson, S.K., J.O. Domingue 1988: Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data in Geographical Information Systems Analysis. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol 54, No.11, November 1988.*
- Veregin, H. 1989: Error Modelling for Map Overlay Operation, The Accuracy of Spatial Data, Uredila M. Goodchild, S. Gopal, Santa Barbara, Kalifornija, ZDA*
- NCGIA 1994: Research Initiative 7, Visualization of the Quality of Spatial Information. Zaključno poročilo. ftp://ncgia.ucsb.edu/pub/Publications/final_reports/I-7/*

MONTE CARLO SIMULACIJE NAPAK DIGITALNEGA MODELA VIŠIN

mag. Tomaž Podobnikar
Znanstvenoraziskovalni center SAZU
Gosposka ulica 13, Ljubljana
tomaz@alpha.zrc-sazu.si

Povzetek

UDK 528.7:681.335.2659.2

V prispevku so predstavljene možnosti uporabe metod Monte Carlo za ovrednotenje in vizualizacijo položajnih napak rastrsko podanega digitalnega modela višin. Najprej definiramo metode Monte Carlo ter navedemo možnosti uporabe pri prostorskih podatkih. Nato navedemo možne napake, ki se lahko pojavljajo pri zajemu in obdelavi podatkov ob upoštevanju standardov kakovosti prostorskih podatkov. Sledi opis modela napak, njegove izvedbe ter ovrednotenje rezultatov.

Napake simuliramo z metodo Monte Carlo pri uporabi lastnega programa, izdelanega v Arc/Infu ter C-ju. Testno območje obsega okolico Krma s podatki DMR-ja 100 (digitalnega modela višin z ločljivostjo 100 m), Geodetske uprave RS. Rezultate simulacij lahko uporabimo za predstavitev napak prostorskih podatkov potencialnim uporabnikom z njihovo vizualizacijo (npr. GIS katalogi). Primerni so tudi za učenje možnosti vpliva napak prostorskih podatkov ali prenosa napak pri prostorskem modeliranju.

Ključne besede: prostorske analize, kakovost podatkov, GIS, metode Monte Carlo, digitalni model višin

Abstract

UDC 528.7:681.335.2659.2

Monte Carlo Error Simulations of Digital Elevation Model

In the article the possibilities for applications of Monte Carlo methods for computing and visualisation of positional errors are presented with using raster digital elevation model (DEM). First Monte Carlo methods are defined and their possibilities for applications with spatial data. Further potential errors concerning of data capture and manipulating are referred with considering spatial data standards. Then the description and realisation of the error data follow with their calculation.

Errors were simulated with Monte Carlo method with using own program, created in Arc/info and C. DEM with resolution of 100 m was tested on small area around hill Krim. Results of simulations could be used for error of spatial data presentation (with visualisation) to the potential users (for example in GIS catalogues). They could be used also for learning of error influences possibilities or error propagation at spatial modelling.

Keywords: spatial analyses, data quality, GIS, Monte Carlo methods, digital elevation model

1. Uvod

Statistične metode Monte Carlo so se v geografskih informacijskih sistemih (GIS-ih) pojavile relativno pozno. Povod za izum metod je bila uporaba iger na srečo, ob katerih so začeli znanstveniki (in zasvojenici z igrami) študirati zanimive pojave in izide naključij. Ime za matematične metode Monte Carlo je nastalo okoli leta 1944, ko so jih začeli sistematično razvijati znanstveniki, ki so razvijali jedrsko orožje v projektu Manhattan v Los Alamosu (Kalos, Whitlock 1986; Computational Science Education Project 1995). Najprej se je

Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1997-1998, str. 99-110, Ljubljana 1998

metoda imenovala Monaco, in sicer po ruleti kot enostavnem generatorju naključij. Večji razmah so metode Monte Carlo doživele po letu 1970 z razmahom digitalnih računalnikov (Pllana 1997), ki so se izkazali kot idealno sredstvo za njihovo izvajanje.

Metode Monte Carlo lahko zelo poenostavljeno predstavimo kot metode za računanje z naključnimi števili. Primernejšo definicijo metod Monte Carlo povzemamo po Kalosu in Whitlockovi (1986), in sicer: *Metode Monte Carlo vsebujejo premišljeno uporabo naključnih števil pri izrednotenju strukture stohastičnega procesa*. S stohastičnim procesom mislimo na zaporedje položajev, katerih razvoj je določen z naključnimi dogodki. V računalniku jih ustvarjamo z naključnimi števili. Pri omenjenih metodah gre torej za reševanje problemov, ki niso povezani z verjetnostjo, na primer izračun vrednosti p , z verjetnostnimi metodami.

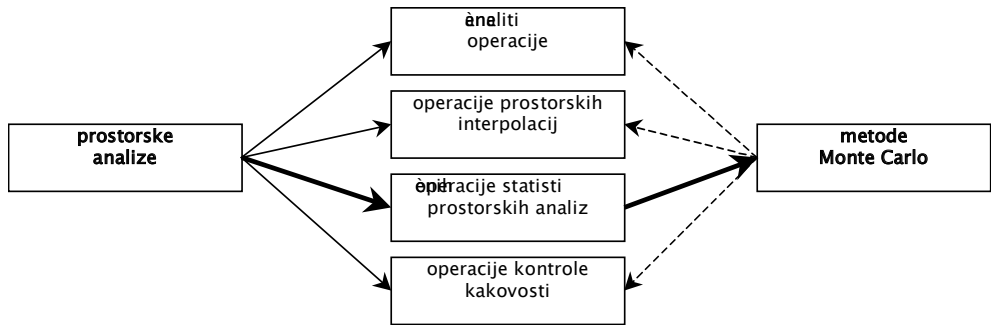
Metode Monte Carlo zasledimo torej v GIS-ih šele v začetku 90. let, skupaj z intenzivnejšo uporabo prostorskih analiz. Zaenkrat so jih v prostorskih analizah večinoma uporabljali na ravni eksperimentiranja, njihovo uporabo pa lahko zasledimo v nekaj naslednjih primerih:

- simulacija prenosa napak pri prostorskih analizah prekrivanja in zamejevanju območij oddaljenosti (Openshaw et al. 1991),
- simulacija napak na modelih nepravilnih trikotniških mrež (TIN-ov; Canters 1994),
- animacija napak DMV-ja (digitalnega modela višin) pri različnih stopnjah koefficienta avtokorelacije (Fisher 1996a),
- modeliranje nezanesljivosti nadmorske višine na DMV-ju pri geografskih analizah na primeru iskanja poteka poti glede na najmanjše stroške gibanja po površju (Ehlschlaeger, Shortridge 1996),
- analiza majhnih in neznačilnih prostorskih vzorcev s porazdelitvijo, ki ni normalna, na primeru analize položajev arheoloških najdišč v Arizoni ob upoštevanju bližine vodnih virov in naklona površja (Kvamme 1997),
- kombiniranje dveh različnih tipov nedoločenosti z uporabo teorije mehke logike in metod Monte Carlo za modeliranje nedoločene stabilnosti bregov (Davis, Keller 1996).

V prvem primeru gre predvsem za simulacijo položajne natančnosti oziroma meja med območji, pri drugem, tretjem in četrtem pa za simulacijo natančnosti nadmorskih višin. V predzadnjem primeru gre za učinkovite statistične analize testiranja domnev za prostorske točkovne vzorce, kadar so ti majhni in neznačilni ter niso porazdeljeni po normalni porazdelitvi. Gre torej za primerjavo obravnavanih vzorcev z naključnimi prostorskimi vzorci. Simulacije Monte Carlo spadajo med statistične prostorske analize v GIS-ih, vendar jih lahko uporabljamo še na marsikaterem področju prostorskih analiz (slika 1; glej tudi Drobne et al. 1997).

2. Izvori napak v GIS-ih

Metode Monte Carlo prikazujemo v našem primeru za simulacijo napak digitalnega modela višin (DMV). Najprej si oglejmo, od kje napake sploh izvirajo. Poznamo mnogo vzrokov, zaradi katerih pride do nezanesljivosti in nedoločenosti pri upravljanju s prostorskimi (geografskimi) informacijami (Openshaw et al. 1991). Pri obravnavanju prostorskih



Slika 1: Prostorske analize in metode Monte Carlo.

analiz in samih podatkov, povezanih z njimi, je nujno poznati tudi natančnost prostorskih podatkov in informacij. Tu se naslanjamo na model kakovosti prostorskih podatkov (CEN 1996).

Veliko napak lahko odkrijemo pred vnosom v sistem, nekatere druge pa med vnosom. Zelo nevarne so napake, ki nastanejo med operacijami v GIS-ih. Napak operacij prekrivanja se lahko na primer rešimo z boljšimi tehnikami klasifikacije in interpolacije, napake digitalizacije pa z manjšo pristranskostjo pri njenem izvajanju. Nedoločenost vhodnih podatkov in prenos napak pri operacijah v GIS-ih lahko grobo razdelimo v naslednji dve skupini (Lovett 1995; Walsh et al. 1987; podobno tudi Burrough 1986):

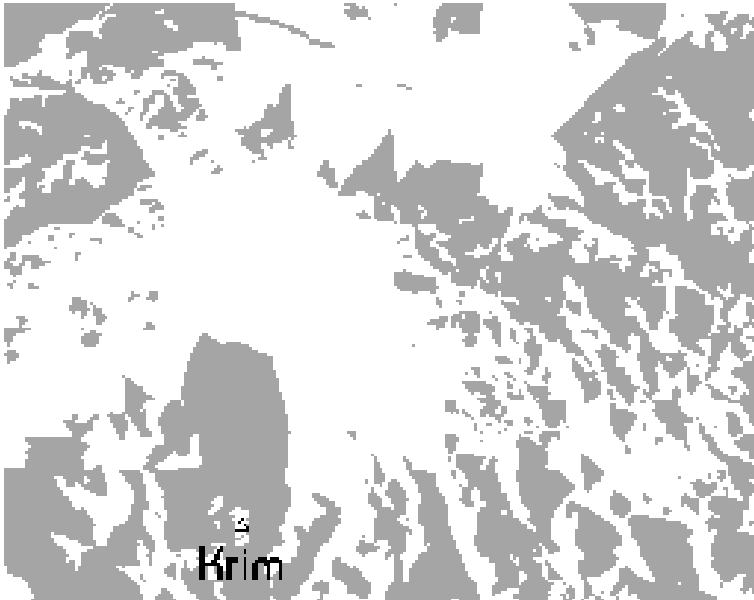
- *vgrajene napake*, ki predstavljajo napake izvorov ali tiste napake, ki so se pojavile med zajemanjem podatkov in
- *napake operacij*, ki se pojavljajo med izvajanjem operacij z orodji GIS-ov.

Med vgrajene napake lahko štejemo: merilo kartiranja, napake digitalizacije, napake geokodiranja, starost podatkov, pokritost obravnavanega območja z iskanimi podatki, gostota opazovanj, pomembnost podatkov, dostopnost podatkovnih slojev, poreklo, cena itd. Napake operacij nastanejo kot posledica izvajanja operacij v GIS-ih (Giordano 1994), na primer pri operacijah prekrivanja ali določanja območij evklidske oddaljenosti. Druge tovrstne napake so lahko še: napake pri računalniških operacijah, topoloških analizah, generalizaciji podatkov, interpolaciji, določanju in spreminjanju razredov, prekrivanju in križanju meja, rastriranju itd.

3. Simulacijski model napak slovenskega DMR-ja 100 za območje Krima

Simulacijo napak z metodo Monte Carlo obravnavamo na primeru DMR-ja 100 (digitalni model reliefa, ki je v resnici le digitalni model višin (DMV), je izdelan na 100-metrski pravilni mreži celic državnega koordinatnega sistema in pokriva celotno območje Slovenije. Posamezne nadmorske višine so zapisane z metrsko natančnostjo (Gauß-Krügerjeva projekcija). Podatki so bili zajeti iz temeljnih topografskih načrtov v merilu 1 : 5000 in 1 : 10.000 (TTN 5, 10) ter državnih topografskih kart v merilu 1 : 25.000. Nadmorske višine so bile zajete z ročno digitalizacijo presečišč plastnic s pravilno kvadratno mrežo ter z interpolacijo vrednosti med plastnicami (Geodetska uprava RS 1998). Celotna zbirka podatkov je bila vzpostavljena do leta 1995 in obsega 2,027.198 točk.

Napako oziroma odstopanje (tematska napaka) DMV-ja najpogosteje prikažemo s



Slika 2: Dvojiška vidnost s Krima na DMR-ju 100 (obravnavano območje je dimenzij 29 x 23 km).

srednjim kvadratnim odklonom ($z_{\text{pravi}} = z \pm e$). Kontrola natančnosti podatkov, ki je bila izvedena na podlagi primerjave s 16.000 geodetskimi točkami, je pokazala, da za višinske točke lahko prevzamemo 10-metrski srednji kvadratni odklon po višini za srednje razgibano površje (glej tudi Ivačič 1996), kakršen je na območju Dolenjske. Sicer pa napaka znaša približno 3,3 m za nerazgibano in 16,1 m za zelo razgibano površje. V prepadnih stenah Alp je napaka seveda še precej večja. Položajna natančnost DMV-ja pa znaša približno 1 m, vendar je v tem primeru težko ločiti položajno napako od tematske.

Glede na omenjene ocene natančnosti DMR-ja 100, ki je bila izvedena na omejenih območjih, lahko empirično za območje Krima (slika 2) privzamemo vrednost standardnega odklona $s = 10$ m. Pri simulaciji poleg tega upoštevamo tudi različne konfiguracije površja in s tem privzamemo oceno različne vrednosti napake z vrednostjo standardnega odklona ± 3 m.

Opozoriti velja, da pri simulaciji napak DMV-ja privzamemo, da je srednji kvadratni odklon skoraj enak standardnemu odklonu (Canters 1994). Če domnevamo, da je srednja vrednost napake 0, potem lahko za katerokoli točko simuliramo naključno napako po normalni porazdelitvi s srednjo vrednostjo 0 in standardnim odklonom, ki je enak srednjemu kvadratnemu odklonu.

Pri privzeti skupni vrednosti 10-metrskih povprečnih napak je treba upoštevati vse napake, ki prispevajo k njej. Napaka DMV-ja je na splošno odvisna od absolutne in relativne natančnosti podatkov DMV-ja ter tudi od ločljivosti, s katero je zajet. Pri tem seveda smatramo, da je DMV mehka predstavitev površja in torej ni velikih, drastičnih sprememb višin. Glede na mehkost sprememb površja mora biti tudi napaka porazdeljena "zvezno". Z drugimi besedami: napaka določene točke je približno enaka napaki bližnjih točk. Drugače je seveda v Alpah, kjer so napake porazdeljene precej manj "zvezno". Prav

zaradi "mehkosti" površja v okolici Krima (Moranov koeficient avtokorelacije celotne Dolenjske je na primer kar $I = 0,995$) domnevamo, da je tudi napaka porazdeljena močno prostorsko avtokorelirano. Za stopnjo prostorske avtokorelacije napak lahko torej za to območje privzamemo približno vrednost Moranovega koeficienta $I = 0,8$ in ocenimo njegov standardni odklon (kot dodatno nedoločeno) s $\pm 0,03$. Izbrana vrednost avtokorelacijskega koeficienta simulacije je manjša od DMV-ja izbranega območja zato, ker predvidevamo, da so napake porazdeljene manj "zvezno" od same razgibanosti površja.

Določili smo torej parametre ciljnih vrednosti standardnega odklona in koeficienta avtokorelacije ter se odločili, da izvajamo ($n = 100$) simulacij.

4. Izvedba simulacije napak Monte Carlo za DMV

Ker v modelu napak domnevamo in s tem privzemamo, da je napaka neodvisna od položaja v prostoru, lahko simulirane naključne (stohastične) vrednosti enostavno dodamo vsem lokacijam oziroma rastrskim celicam na obravnavanem DMV-ju. Poznamo več poti, kako z metodami Monte Carlo ustvariti naključno ploskev napak. Računalniški program simulacije za napake DMV-ja, ki smo ga izdelali (Podobnikar 1998), obdeluje rastrsko podane podatkovne sloje po postopku, ki smo ga deloma prevzeli po Fisherju (1991):

- Definiranje ciljnega koeficienta avtokorelacije – Moranovega I in standardnega odklona s . Do vrednosti standardnega odklona pridemo s tem, da zanj privzamemo vrednost podanega srednjega kvadratnega odklona.
- Postopek se nadaljuje analogno opisanemu postopku za ocenjevanje položajnih napak tako, da spodaj navedene korake ponavljamo n -krat ($n = 100$):
 - ustvarjanje naključne ploskve tako, da dobimo za vsako celico DMV-ja naključno vrednost z normalno porazdelitvijo s srednjo vrednostjo 0 in standardnim odklonom s ,
 - spodaj navedene korake ponavljamo, dokler ne dosežemo zelenega ciljnega koeficienta avtokorelacije;
 - ✓ izračunamo koeficient avtokorelacije I ,
 - ✓ naključno izberemo dve celici na naključno ustvarjeni ploskvi,
 - ✓ zamenjamo vrednosti teh dveh celic,
 - ✓ izračunamo nov koeficient avtokorelacije I (novo preverjanje),
 - ✓ če je nova vrednost avtokorelacije večja od prejšnje, obdržimo novo razporeditev celic, v nasprotnem primeru jo zavrnemo.
- Na vsaki izmed n naključnih ploskev (z določeno stopnjo avtokorelacije) izvedemo operacijo, na kateri želimo ugotavljati vpliv napak DMV-ja. V našem primeru gre za določitev dvojiške ploskve vidnosti.
- Vseh n dvojiških slojev vidnosti seštejemo.
- Pri upoštevanju določene stopnje tveganja vidnosti prikažemo rezultate.

Računalniški program za simulacijo napak DMV-ja, ki deluje po opisanem algoritmu, je napisan za GIS-orodje Arc/Info pri uporabi modulov Arc in Grid. Program, napisan v makro jeziku Arc/Infa – v AML-ju, kliče program, napisan v jeziku C.

4.1. Izvedba primernih naključnih avtokoreliranih ploskev

Največja težava pri izvedbi naloge je bila določitev primerne naključne ploskve

glede na predhodno določen model napak. Uporaba metode Monte Carlo simulacij pri ocenjevanju napak na zveznih ploskvah temelji na izdelavi naključne, do določene stopnje avtokorelirane oziroma gladke ploskve napak (Fisher 1991). Statistično ponazoritev prostorske avtokorelacije največkrat izračunamo z Moranovim koeficientom I , redkeje pa z Gearyjevim koeficientom c (Chou 1997; Bailey, Gatrell 1995). Moranov koeficient oziroma indeks I je definiran z naslednjo enačbo:

$$I = \frac{n \sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{(\sum_i \sum_j w_{ij})(\sum_i (x_i - \bar{x})^2)}$$

Pri tem je n število prostorskih (geografskih) enot (točk). w_{ij} predstavlja prostorsko relacijo med i -to in j -to enoto (v našem primeru rastrsko celico), kjer je: $w_{ij} = 1$, če sta celici i in j sosednji in $w_{ij} = 0$, če nista. x_i predstavlja vrednosti posameznih prostorskih pojavov in \bar{x} aritmetično sredino vrednosti vseh točk (pri rastrskih celicah).

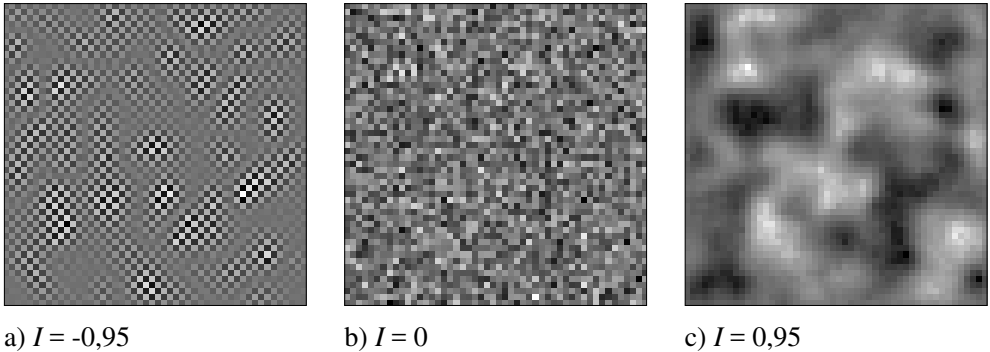
Vrednosti koeficienta I lahko zavzamejo interval med -1 do 1 . Pozitivna vrednost blizu 1 pomeni, da se vzorec točk zbira v gruče, medtem ko predstavlja negativna vrednost blizu -1 razpršen vzorec. Če se koeficient I ne razlikuje bistveno od 0 , značilne avtokorelacije ni in prostorski vzorec pojmujeemo za naključnega.

Poglejmo si tri primere uporabe opisanega algoritma za Monte Carlo simulacijo naključno ustvarjenih zveznih ploskev. Pri takih ploskvah lahko z naključnim spreminjanjem položaja parov vrednosti in kontroliranjem stopnje avtokorelacije dosežemo zelo visoke negativne ali pozitivne vrednosti Moranovega koeficienta korelacije I (slika 3). Primer b) prikazuje osnovno naključno ploskev, kjer nismo spreminjali koeficienta avtokorelacije (ki je ostal 0). V primeru a) so rastrske celice močno "antiavtokorelirane", v primeru c) pa močno avtokorelirane. Na analogen način ustvarjene naključne ploskve s srednjo vrednostjo 0 in standardnim odklonom, enakim srednjemu kvadratnemu odklonu ocene napake višin DMV-ja, uporabljamo pri dejanskih simulacijah z metodo Monte Carlo.

4.2. Ovrednotenje napak DMV-ja z določitvijo simuliranih območij vidnosti z oddajnika na Krimu

Napake na DMV-ju lahko ovrednotimo z določenimi operacijami prostorskih analiz. Oglejmo si nekaj možnih operacij prostorskih analiz na DMV-jih:

- izračun območij vidnosti,
- izračun stroškovnih ploskev (če pri tem na primer DMV pomeni strošek gibanja),
- izračun optimalne poti glede na strošek gibanja po površju (če je pri tem sloj DMV-ja osnova za izračun stroška gibanja),
- izračun (potencialnih) poplavljenih območij,
- izračun osončenosti ter usmerjenosti in naklona površja,
- izračun razvodij ter izračun karakterističnih točk površja, kot so vrhovi, dna vrtač, grebeni, potek dolin, sedla itd.,
- operacije določanja meja razredov (če gre na primer za tovrstno operacijo na DMV-ju) ter
- druge analize na osnovi DMV-ja ali drugih ploskev.



Slika 3: Različne stopnje prostorske avtokorelacije (avtokorelacijskega koeficienta I) na rastrskih celicah naključno ustvarjenih, normalno porazdeljenih vrednosti (celih števil z vrednostmi med 0 do 255 – kot zelo grob približek zvezne ploskve), na območju 50 x 50 celic.

Rezultati omenjenih operacij so lahko točke, linije in območja, ki imajo lahko glede na vpliv simulirane napake DMV-ja različne položaje in spremenljive oblike v prostoru. Napake DMV-ja lahko na rezultatih takih operacij enostavno ovrednotimo, predvsem vizualno. V primeru ovrednotenja napak DMV-ja okolice Krma se omejimo na operacije določanja vidnosti na prvotnem in z napakami simuliranih DMV-jih.

Vidnost kot ena izmed standardnih funkcij GIS-ov vrne v osnovi vrednost 1 za vidna območja in vrednost 0 za nevidna. Taka definicija ima vrsto hib. Ena izmed njih je, da dobimo napačne rezultate, če so na DMV-ju napake (Fisher 1997). Pri n -kratni simulaciji napak omogočamo mnogo bolj elastično interpretacijo vidnosti določene lokacije. S tem, ko n simuliranih dvojiških slojev vidnosti seštejemo, lahko določimo »mehka« območja vidnosti glede na verjetnost oziroma tveganje za pojavljanje vidnosti. S simulacijami z metodami Monte Carlo torej ugotavljamo verjetnost vidnosti posameznih lokacij (Fisher 1996b).

Pri računanju vidnosti na simuliranih DMV-jih ne upoštevamo neposredno vpliva višine stavb ali pa vegetacije, upoštevamo pa vpliv ukrivljenosti Zemlje. Namesto navideznega horizonta želimo namreč pri računanju vidnosti upoštevati pravega. Poleg ukrivljenosti Zemlje upoštevamo še lom (refrakcijo) vidne svetlobe, ki nam pravi horizont nekoliko približa (ali pa poveča navidezni polmer Zemlje na $1/0,87 = 1,15R$) ter dobimo približno formulo, ki velja za relativno majhne razdalje pri razlikovanju med pravim in navideznim horizontom (D):

$$\Delta = 0,8 \frac{d^2}{2R}.$$

Pri računanju "vidnosti" z oddajnikov, ki oddajajo radijske signale, je model navadno še nekoliko bolj zapleten kot za vidnost, ki jo zaznavamo z očmi. V tak model bi morali poleg omenjenih parametrov vključiti tudi naslednje parametre: odvisnost loma od frekvence valovanja, odbojnost, slabljenje valovanja, interferenca, razne atmosferske pojave itd. Kljub temu pa je ugotavljanje vidnosti z nekaj parametri za vidno svetlobo primerno za izvajanje prvega koraka pri preučevanju sprejemanja telekomunikacijskih signalov.

Simulacijo napak DMV-ja okolice Krma smo se odločili demonstrirati na izračunu

“vidnosti” signalov z oddajnika na Krimu, z Gauß-Krügerjevimi koordinatami 459.265, 87.285, nadmorsko višino 1095 m ter višino oddajnika 40 m oziroma signalov na oddajniku 20 m. Operacijo vidnosti izvajamo najprej na nespremenjenem DMV-ju (pod normalnimi pogoji) ter potem na DMV-jih, ki vsebujejo simulirano napako. Nato obe skupini rezultatov primerjamo.

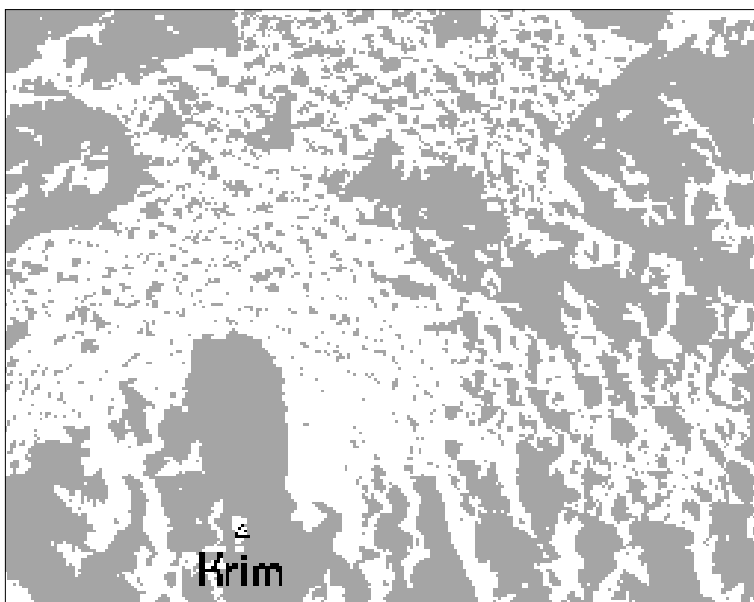
5. Rezultati simulacije napak DMR-ja 100

Delovanje algoritma za izdelavo naključnih ploskev glede na model napak si oglejmo pri primerjavi rezultatov vidnosti na primeru oddajnika na Krimu. Že na sliki 2 smo lahko videli prikaz dvojiške vidnosti (vidno/nevidno) na izvornem DMV-ju. Primer na sliki 4a) prikazuje eno izmed vidnosti, izvedenih na simuliranem DMV-ju pri standardnem odklonu $s = 10$ m in koeficientu avtokorelacije $I = 0,8$. Na tej sliki lahko pri večji oddaljenosti od oddajnika opazimo sence “vrhov” naključne simulirane avtokorelirane ploskve napak. Ta naključni vzorec “vrhov” izgineva z večanjem števila simulacij (primer na sliki 4b) – $n = 100$ simulacij). Glede na veliko število parametrov, ki dodatno vplivajo na nezanesljivost simulacije ter izbranega načina simuliranja napak, bi bilo priporočljivo simulacijo ponoviti še nekajkrat, na primer 500-krat in s tem izboljšati rezultat.

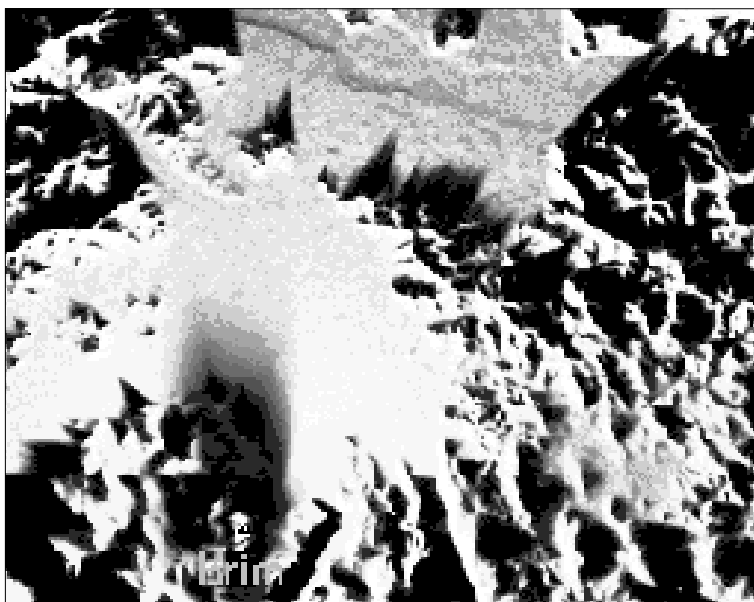
S primerov na slikah 4 in 5 tudi vidimo, da dobimo po simulaciji vidnosti valovito površje tudi v primeru, ko vemo, da je tam ravnina, na primer na Ljubljanskem barju in Ljubljanskem polju. Simulacijski model torej ne upošteva dejstva, da je na teh območjih napaka določitve nadmorskih višin mnogo manjša od simulirane ali pa drugače razporejena. Poleg tega so razdalje med najvišjimi in najnižjimi vrednostmi na simulirani naključni ploskvi, (ki so središča avtokoreliranih in s tem grupiranih območij), različne in odvisne od velikosti rastrskih celic. Glede na znane podatke obnašanja bi lahko ta parameter upoštevali v modelu napak. Tako bi glede na tip reliefa poleg koeficienta mehkosti (avtokorelacije ploskve) površja upoštevali tudi povprečno razdaljo med avtokoreliranimi gručkami simulirane ploskve.

Pri primerjavi omenjenega niza slik opazimo tudi, da dobimo pri simulaciji napak z večanjem razdalje od oddajnika na Krimu na ravnem površju vedno daljše in vedno pogostejše ponavljajoče se sence. Do tega pojava pride zato, ker vidimo oddaljene ravnine pod bolj poševnim kotom kot bližnje, tako da začnejo tudi že manjši simulirani hribčki metati sence. Sklepamo, da daje ta način simulacije kar realne rezultate, saj ob tem izničimo tudi dejstvo, da nismo upoštevali višine stojišča (na primer sprejemnika oziroma antene odjemalca). Na nek način simuliramo tudi višino stavb, gozda ali drugih objektov ter anomalij, ki vplivajo na “vidnost” signala. K večji vidnosti na originalnem DMV-ju 100×100 m pripomore tudi relativno slaba ločljivost, zaradi katere niso zajete manjše spremembe reliefa, ki jih najlažje opazimo pri odčitavanju nadmorskih višin vrhov in vrtač. Taki interpretaciji rezultatov pritrjuje tudi dejstvo, da je aritmetična sredina vseh vrednosti pri dvojiški vidnosti za vidnost s Krima 0,15, pri simulirani vidnosti ($n = 100$) pa ima vrednost 0,13 (če ležijo vrednosti vidnosti na intervalu $[0, 1]$, kjer 0 pomeni nevidnost, 1 pa vidnost). Površina vidnosti se torej po simulaciji napak DMV-ja zmanjša.

Poglejmo si še, kolikšen delež obravnavanega območja je potencialno vidnega, če privzamemo določen odstotek verjetnosti, da je določen del območja res viden. Pri 100 % verjetnost je delež vidnega le 0,02 (na intervalu $[0, 1]$) površine, pri 90 % 0,06 ter pri 1 % verjetnosti se ta delež poveča kar na 0,26.



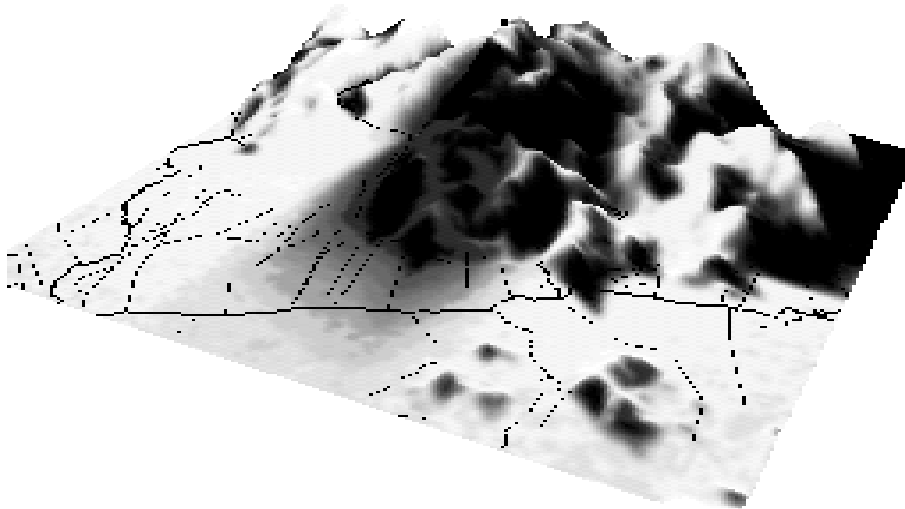
a) dvojiška vidnost s Krima ene izmed simulacij DMV-ja ($n = 1$)



b) potencialna območja vidnosti s Krima na simuliranem DMV-ju ($n = 100$)

Slika 4: Testna primerjava vidnosti s Krima na območju 29 x 23 km ob upoštevanju ukrivljenosti zemeljske oble. Pri predstavitvi potencialne vidnosti v primeru b) pomenijo svetlejša območja višjo stopnjo zaupanja za vidnost, temnejša pa nižjo.

Glede na model napak lahko pri izvajanju simulacije primerno ustvarjene, zvezne, naključne in avtokorelirane ploskve dodajamo originalnemu DMV-ju. Prednost uporabe metode Monte Carlo za simulacije napak na zveznih ploskvah oziroma na DMV-ju je med drugim možnost enostavnega upoštevanja pričakovanih napak ter njihove razporeditve



Slika 5: Perspektivni prikaz DMV-ja bližnje okolice Krima (14 x 12 km) z oddajnikom na vrhu (črna pika). Temnejša območja predstavljajo manjše zaupanje za vidnosti z oddajnika, kot svetlejša.

glede na določen tip površja. V alpskem svetu namreč pričakujemo mnogo večje napake, kot na ravninskem delu, poleg tega so tam napake manj avtokorelirane.

6. Ocena simulacijskih postopkov in modela

Glede na dobljene rezultate predvidevamo, da bi lahko model računanja vidnosti na simulaciji napak DMV-ja zelo učinkovito uporabljali v zapletenejšem modelu ugotavljanja sprejemanja signalov s posameznih oddajnikov. Poenostavljeno bi lahko glede na znano naravo radijskih valov za iskano visoko stopnjo zaupanja sprejemanja signalov izbrali določeno nizko stopnjo zaupanja simulirane vidnosti (kakršno smo izvajali).

Naslednja možnost je simulacije naključnih ploskev DMV-ja je lahko izdelava dinamičnega modela vizualizacije. Pri tem lahko napake prikažemo s postopkom naključnega spreminjanja stohastičnega modela napak pri izbrani stopnji avtokorelacije. S tem dobimo pri neprestanem spreminjanju osnovnega vzorca napak na DMV-ju občutek in idejo, na katerih mestih je DMV posebno občutljiv na napako (Fisher 1996a).

Kot smo že omenili, je bil eden izmed večjih problemov pri doseganju primerno gladke, avtokorelirane in naključne ploskve uporabiti (oziroma izdelati) algoritem, ki bi simulacije Monte Carlo opravil v zadovoljivem času. Na ploskvi 900 krat 1000 celic na primer potrebujemo za to, da dosežemo avtokorelacijski koeficient $I = 0,8$, kar 25 milijonov iteracij (naključnih zamenjav dveh celic)! Šele z optimiziranim algoritmom smo lahko le v nekaj minutah opravili ves postopek. S prvotnim algoritmom bi rabili za to kar trimilijonkrat več časa.

7. Sklep

Z uporabo obravnavanih metod Monte Carlo si lahko uporabnik podatkov mnogo

lažje predstavlja, kaj sploh lahko od izbranih podatkov pričakuje. Na enak način lahko simulacijske metode uporabimo tudi za podatke najrazličnejših geodetskih meritev. Rezultati naloge so lahko uporabni tudi za pedagoške namene, za katere lahko prikažemo naravo napak in njihov vpliv na prostorske podatke, ter še več, preučujemo lahko obnašanje podatkov z znanimi napakami v prostorskih analizah, kar je zanimivo tudi za planerje.

Metode simulacij Monte Carlo v prostorskih analizah odpirajo dobre možnosti uveljavljanja marsikaterih zamisli, ki smo jih še pred nekaj leti lahko uresničili le na zelo dragih računalnikih ali pa na zelo majhnih testnih območjih. Zaradi razvoja računalnikov jih lahko danes z mnogo manjšim trudom že izvajamo tudi na osebnih računalnikih. Metode Monte Carlo simulacij prispevajo svoj delež k skokovitemu razvoju tehnik testiranja (merjenja) in ocenjevanja stopnje napak ter njihove vizualizacije.

Literatura in viri

- Bailey, T. C., Gatrell, A. C. 1995: *A review of statistical spatial analysis in geographical information systems*. Longman Scientific & Technical. Essex.
- Burrough, P. A. 1986: *Principles of Geographical Systems Information Systems for Land Resources Assessment*. Clarendon Press. Oxford.
- Canter, F. 1994: *Simulating error in triangulated irregular network models*. EGIS/MARI '94. Amsterdam, Nizozemska. <http://www.odyssey.ursus.maine.edu/gisweb/spatdb/egis/eg94019.html> (tudi prek interneta).
- CEN (European Committee for Standardization) 1996: prEN 287008. *Geographic information – Data description – Quality*.
- Chou, Y.-H. 1997: *Exploring Spatial Analysis in Geographic Information Systems*. On-Word Press. Santa Fe.
- Computational Science Education Project 1995: *Introduction to Monte Carlo Methods*. <http://csep1.phy.ornl.gov/CSEP/MC/MC.html> (prek interneta).
- Davis, T. J., Keller, C. P. 1996: *Modelling uncertainty in natural resource analysis using fuzzy sets and Monte Carlo simulation: slope stability prediction*. <http://geography.geog.ubic.ca/dept/announce/fuzzy/ijgis/text/ijgis.html> (prek interneta).
- Drobne, S., Podobnikar, T., Marini, S. 1997: *Prostorske analize v geografskih informacijskih sistemih*. Geodetski vestnik, letnik 41, št. 4. Ljubljana.
- Ehlschlaeger, C. R., Shortridge, A. 1996: *Modelling elevation uncertainty in geographical analyses*. Kraak, M.J., Molenaar, M. (ur.): *Advances in GIS Research II. Proceedings 7th, International Symposium on Spatial Data Handling*. Delft, Nizozemska.
- Fisher, P. F. 1991: *First Experiments in Viewshed Uncertainty: The accuracy of the Viewshed Area*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, letnik 57, št. 10, oktober.
- Fisher, P. F. 1996a: *Animation of Reliability in Computer-generated Dot Maps and Elevation Models*. Cartography and Geographic Information Systems, letnik. 23, št. 4. Journal of American Congress on Surveying and Mapping, ZDA.
- Fisher, P. F. 1996b: *Extending the Applicability of Viewsheds in Landscape planning*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, letnik 62, št. 11, november.
- Fisher, P. F. 1997: *Inside GIS; The viewshed's view: trials of a GIS function*. Mapping Awareness, marec.
- Geodetska uprava RS 1998: *podatki o zemljiškem katastru, RPE-ju, GKB-ju 25-C, GKB-*

- ju 25-H, DMV-ju 100, <http://www.sigov.si/cgi-bin/spl/gu/gu.html> (prek interneta).
- Giordano, A., Veriegin, H. 1994: *Il controllo di qualità nei sistemi informativi territoriali. Il Cardo. Venezia.*
- Ivačič, M. 1996: *Izbrane metode ugotavljanja kakovosti prostorskih podatkov v geografskih informacijskih sistemih. Magistrska naloga, FGG, Oddelek za geodezijo, Univerza v Ljubljani. Ljubljana.*
- Kalos, M. H., Whitlock, P. A. 1986: *Monte Carlo methods. Volume I: Basics. John Wiley & Sons. New York.*
- Kvamme, K. L. 1997: *GIS and Statistical Inference in Arizona: Monte Carlo Significance Tests. Johnson, I., North, M. (ur.): Archaeological Applications of GIS, Proceedings of Colloquium II, UISPP XIIIth Congress, Forli, Italy, September 1996. Sydney University (CD ROM). Sydney.*
- Lovett, A. A. 1995: *Spatial Analysis. The Economics of Geographic Information. GIS – Material for a Post-Graduate Course, Volume 2: GIS Tehnology, Geoinfo, TU Vienna. Dunaj.*
- Openshaw, S. 1991: *Developing appropriate spatial analysis methods for GIS. Maguire, D. J., Goodchild, M. F., Rhind, D. W. (ur.): Geographical information systems: Principles and Applications. Longman. London.*
- Pllana S. 1997: *History of Monte Carlo method. <http://stud2.tuwien.ac.at/~e9527412/> (prek interneta).*
- Podobnikar, T. 1998: *Metode Monte Carlo simulacij v prostorskih analizah. Magistrska naloga, FGG, Oddelek za geodezijo, Univerza v Ljubljani. Ljubljana.*
- Walsh, S. J., Lightfoot, D. R., Butler, D. R. 1987: *Recognition and Assessment of Error in Geographic Information Systems. Photogrametric Engineering and Remote Sensing, letnik 53, št. 10, oktober.*

KATERE FORMULE SO TEMELJ PROSTORSKIM ANALIZAM V GIS-U?

mag. Samo Drobne
Univerza v Ljubljani
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Jamova cesta 2, Ljubljana
sdrobne@fgg.uni-lj.si

Izvleček

UDK 528:519.2:659.2:91 (497.4)

V prispevku obravnavamo izvedbo in uporabo nekaterih formul kot temeljev prostorskim analizam v geografskih informacijskih sistemih (GIS). Njihova značilnost je enostavnost, prefinjenost, logičnost, široka uporaba ter zmožnost izpeljave številnih drugih, bolj zapletenih formul oziroma modelov v GIS-u. V večini primerov prikažemo lastne primere uporabe.

Ključne besede: prostorske analize, prostorska statistika, GIS, formula

Abstract

UDC 528:519.2:659.2:91 (497.4)

Which formulae are the foundations for spatial analysis in GIS?

In the paper, some formulae as the foundations for spatial analysis in the GIS are discussed. To be included these formulae have to meet the following criteria: they must have wide application; they should be fundamental building blocks of many key algorithms in GIS; and they should represent and relate to other key formulae. Our own examples of their use are presented in most cases.

Key words: spatial analysis, spatial statistics, GIS, formula

1. Uvod

Po Langranu (1989) loči prvo generacijo od druge generacije GIS-ov ravno sposobnost analiziranja podatkov. Podatke, shranjene v GIS-u, lahko obdelujemo z matematičnimi formulami oziroma modeli. Takšno matematično upravljanje podatkov v GIS-u pa zahteva izvedbo raznolikih enačb in postopkov v algoritmih GIS orodij. Nekatere med njimi lahko opredelimo kot temeljne formule za delo v GIS-u druge generacije, saj so iz njih izpeljane številne druge formule in modeli. Njihova značilnost je enostavnost, prefinjenost, logičnost, široka uporaba ter zmožnost izpeljave številnih drugih, bolj zapletenih formul oziroma modelov. To so torej formule, ki zaradi svojih značilnosti - predvsem logičnosti in prefinjenosti - omogočijo bodočemu strokovnjaku lažje razumevanje problema prostorske analize v GIS-u; tistemu, ki mu problem ni tuj, pa hitrejšo obnovo znanja.

Temeljne formule prostorskih analiz v GIS-u je obravnaval že Waters (1994c; 1995; glej tudi 1994a, b). V tem prispevku pa obravnavamo njihovo izvedbo ter opišemo naše primere uporabe pri različnih analizah v GIS-u. Kolikor dopušča prostorska omejitev tega prispevka tudi grafično prikažemo nekatere naše rezultate uporabe obravnavanih formul oziroma modelov.

Pri obravnavi formul oziroma modelov sledimo načelu enostavnosti razlage. Podroben opis metod in postopkov obravnavanih algoritmov pa lahko zainteresiran bralec poišče v strokovni literaturi; glej, na primer, (Bailey, Gatrell 1995) oziroma (Worboys 1997), bolj zahtevni pa bodo posegli po (Cressie 1993) oziroma (Laurini, Thompson 1996).

2. Prostorske analize v GIS-u

Po Bailey-u (1994) definiramo prostorske analize v GIS-u kot analize, s pomočjo katerih analiziramo prostorske podatke in ustvarjamo nove informacije. Berry (1995), Manfred s sodelavci (1996) ter Unwin (1997) pa so k tej definiciji dodali še "splošno možnost upravljanja s prostorskimi podatki z namenom pridobivanja novih informacij".

Izvor prostorskih analiz je tesno povezan z razvojem kvantitativne in statistične geografije 50-tih let – torej dosti pred pojavom prvih GIS orodij v 70-tih letih. Prvotna GIS orodja so služila predvsem za zajemanje, vzdrževanje, urejanje in prikazovanje - manj pa za analizo - prostorskih podatkov (Rogerson in Fotheringham 1994). V začetku 90-tih let pa je že prevladalo spoznanje, da so prostorske analize izjemno pomembne za razvoj GIS-a (Openshaw 1991). Zato je bilo postopno vključevanje orodij za prostorske analize v GIS-e neizbežno. S tem se namreč povečuje funkcionalnost GIS orodij (Openshaw in Clarke 1996), izboljšujejo pa se tudi metode prostorskih analiz (O'Kelly 1994).

Bailey in Gatrell (1995) razlikujeta med analizami prostorskih podatkov in prostorskimi analizami. Zadnje obsegajo širše področje obravnave – vključno z analizami prostorskih podatkov. Tako gre pri analizah prostorskih podatkov predvsem za statistično opisovanje in modeliranje prostorskih podatkov. Med prostorske analize pa štejemo vse analize prostorskih podatkov vključno z različnimi tehnikami matematične optimizacije (npr. metode mrežnih analiz). Novejšo opredelitev različnih pogledov na prostorske analize v GIS-u je podal Unwin (1997). Le-ta prepoznava štiri poglede na prostorske analize:

- *Analize upravljanje s prostorskimi podatki.* Takšen pogled oblikuje osnovna značilnost novejših GIS orodij, ki postopoma vključujejo nekatere operacije prostorskih analiz.
- *Prostorske statistične analize.* Zaradi zapletenih postopkov, ki jih vključujejo algoritmi prostorskih statističnih analiz, so te v splošnem izvedene predvsem v posebnih programskih orodjih, redkeje pa v sodobnih GIS orodjih. Izjeme so, na primer, InfoMap (Bailey in Gatrell 1995), Idrisi (Eastman 1997), ki je bil razvit za uporabo v akademskih krogih, ter javno dostopen sistem GRASS.
- *(Geografske) prostorske analize.* Le-te oblikuje geografsko usmerjen pogled v prostorske podatke, katerega izvor je v kvantitativni revoluciji 60-tih in 70-tih let.
- *Prostorsko modeliranje.* Takšen pristop k prostorskim analizam zasledimo predvsem v sistemih za podporo odločanju ter v dinamičnih modelih okolja.

Unwin dvomi, da bo kdaj v prihodnosti mogoče združiti različne poglede na prostorske analize v GIS-u (prav tam).

Zaradi raznovrstnosti - tako v izvedbi kot tudi uporabi – prostorskih analiz, različni avtorji, poleg različne opredelitve, različno tudi delijo prostorske analize. V strokovni literaturi zasledimo delitev prostorskih analiz glede na matematični pristop (število spremenljivk, operacije med objekti), grafični pristop (tipi grafičnih objektov), praktični pristop (praktične operacije, ki jih izvajamo v GIS-u) itd. Berry (1987) je opredelil t. i. funkcionalno delitev prostorskih analiz oziroma operacij v GIS-u (glej tudi Lovett 1995). Po njem delimo operacije, s pomočjo katerih izvajamo prostorske analize, na:

- *analitične operacije* (klasifikacija, prekrivanje, operacije izračuna razdalj in povezanosti ter operacije sosedstva);

- *operacije prostorskih interpolacij* (različne točkovne in območne metode);
- *operacije ocenjevanja in upravljanja napak* (metode ocenjevanja ter upravljanja inherentnih in operativnih napak prostorskih podatkov) ter
- *operacije statističnih prostorskih analiz* (metode raziskovalnih in potrjevalnih statističnih analiz prostorskih podatkov).

Prostorske analize dobivajo danes – poleg multimedije - vse pomembnejšo vlogo v razvoju in uporabi GIS-ov. To zasledimo tako v publikacijah mednarodnih strokovnih srečanj, kjer se število referatov s tega področja, kot tudi raznovrstnost obravnave, nenehno povečujeta (glej npr. Fotheringham, Rogerson 1994; Fischer et al. 1996; Craglia, Couclelis 1997), kot tudi v drugi strokovni in študijski literaturi s področja geografskih informacijskih sistemov (glej npr. Bailey, Gatrell 1995; Berry 1995; Frank 1995; Chou 1996; Worboys 1997).

V domači strokovni literaturi najdemo pregled nekaterih osnovnih operacij GIS-a v Kvamme et al. (1997), pregled prostorskih analiz v GIS-u z nekaterimi primeri ter diskusijami v Drobne et al. (1997), pregled statističnih prostorskih analiz pa v Podobnikar (1998) in Podobnikar, Drobne (1998). Prav tako se povečuje število strokovnih prispevkov s širšega področja prostorskih analiz tudi v okviru simpozija Geografski informacijski sistemi v Sloveniji (primerjaj zbornike del iz let 1991-1996).

3. Izvedba in uporaba nekaterih formul v GIS-u

3.1. Izračun razdalje med dvema točkama

Najbolj enostavna med obravnavanimi formulami je tudi najstarejša med njimi. To je formula za izračun razdalje med dvema točkama, ki temelji na Pitagorovem izreku iz 6. stoletja pred našim štetjem:

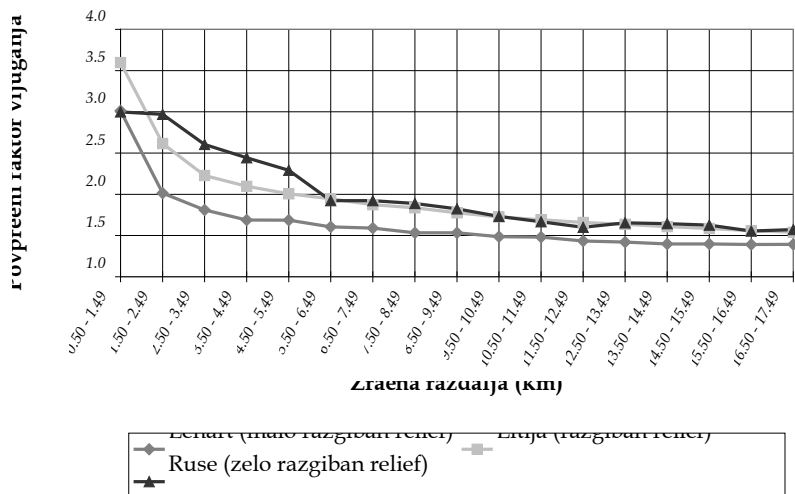
$$D = \left(|X_1 - X_2|^2 + |Y_1 - Y_2|^2 \right)^{1/2} \quad (1)$$

Točki sta predstavljeni s koordinatama X in Y v kartezičnem koordinatnem sistemu. V enačbi (1) predstavljata X_1 in Y_1 koordinatni par prve točke, X_2 in Y_2 pa koordinati druge točke. D je dolžina ravne linije med obravnavanima točkama.

Enačba (1) je temeljni gradnik številnih GIS algoritmov. Izvedena je v tehnikah prostorske interpolacije (npr. pri izračunu povprečja utežnih razdalj; glej tudi poglavje 3.5.), v algoritmih analize gruč, v algoritmih izračuna Thiessenovih poligonov in nenazadnje v algoritmih bližnje sosesčine v postopkih prepoznavanja prostorskih vzorcev.

V primeru, da v enačbi (1) "dvojke" v eksponentu zamenjamo z R , R predstavlja Minkowskijev metričen sistem. Če je $R = 1$, lahko izračunamo Manhattan razdaljo. Formula za izračun Manhattan razdalje je izvedena v številnih lokacijsko-alokacijskih modelih, s katerimi iščemo lokacijo primerno za različno - največkrat oskrbno - dejavnost.

V Drobne, Paliska (1998) smo s pomočjo scenarija v okolju ArcView 3.0 izračunali evklidske ter cestne razdalje med 270-timi obravnavanimi naselji v treh reliefno različno razgibanih slovenskih občinah (skupaj 16.620 povezav) ter med 147-timi občinskimi nivoji na državnem nivoju. Rezultati primerjav evklidskih in "pravih" povezav so služili za izračun faktorja vijuganja slovenskih cest. Na sliki 1 je prikazan povprečni faktor vijuganja cest



Slika 1: Povprečni faktor vijuganja cest v treh reliefno različno razgibanih slovenskih občinah (Vir: Drobne, Paliska 1998).

v treh reliefno različno razgibanih slovenskih občinah.

3.2. Presek dveh premic

Z naslednjima enačbama premic, ki se sekata, lahko izrazimo točko presečišča:

$$X_i = \frac{-(a_1 - a_2)}{b_1 - b_2} \tag{2}$$

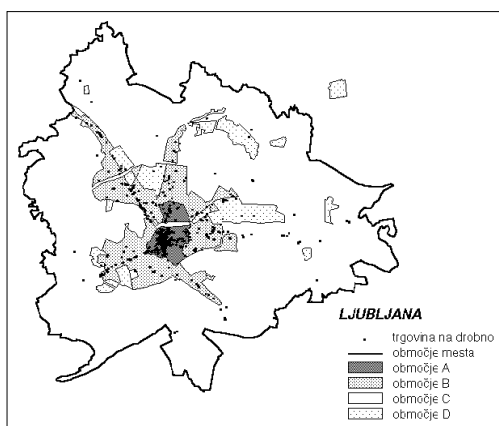
$$Y_i = a_1 + b_1 \cdot X_i$$

V enačbah (2) predstavljata parametra b nagib prve oziroma druge linije, parametra a pa konstanto oziroma presek premic z Y oziroma navpično osjo v kartezičnem koordinatnem sistemu.

Enačba (2) spada v področje koordinatne geometrije (COGO - angl. 'coordinate geometry'). Ta predstavlja eno izmed bolj uporabnih vej matematike za načrtovanje GIS-ov, ki je hkrati tudi bolj razumljiva širši množici GIS uporabnikov, saj se tovrstne osnove običajno poučujejo že v srednji šoli.

Drugo takšno sorodno področje v matematiki, ki je pomembno za razvoj GIS-ov, pa je računska geometrija (angl. 'computational geometry'). Ta obravnava razvoj algoritmov in postopkov za hitro in učinkovito reševanje geometričnih problemov s pomočjo računalnikov. Potrebe po učinkovitih rešitvah s področja računske geometrije, ki so se pokazale že v času starih Grkov in Egipčanov - predvsem pri obdavitvi zemljišč in gradnji zgradb - so ostale do današnjih dni. To še posebej velja v zemljiških informacijskih sistemih (LIS), kjer običajno obdelujemo več deset tisoč ali več sto tisoč povezav oziroma poligonov (obrisov zemljiških parcel). V takšnem primeru lahko neučinkovit algoritem na še tako zmogljivem računalniku zelo upočasnijo postopek obdelave.

Formuli za izračun preseka dveh linij sta temeljna gradnika dveh skupin analitičnih



Slika 2: Razporeditev zemljišč v območja za ocenjevanje vrednosti stavbnega zemljišča ter trgovine na drobno v Ljubljani (Vir: Drobne, Bogataj 1994 oziroma Kvamme et al. 1997).

algoritmov v GIS-u: algoritmov določitve točk v poligonu in algoritmov prekrivanja poligonov. Postopki določitve točke v poligonu so eni izmed prvih in bolj pomembnih postopkov v GIS-u. Nema lokrat želimo ugotoviti, koliko opazovanj je znotraj določenega območja in koliko zunaj. Postopek določitve, ali leži točka v poligonu, ali ne, je preprost: iz točke generiramo (pol)linijo, ki se začne v točki in ki poteka čez območje največje znane koordinate vozlišča obravnavanega poligona. Nato preštejemo (v smeri iz točke navzven) kolikokrat je linija presekala rob poligona. V primeru, da je to število neparno, leži točka znotraj poligona, če je parno, pa zunaj poligona. Kljub robustnosti takšnega algoritma, ki deluje celo nad poligoni zelo raznolikih oblik, pa obstaja v stvarnem svetu mnogo primerov, kjer ta odpove; več o teh primerih v npr. Laurini, Thompson (1996) ali Worboys (1997). Primera, kjer točko presečišča ne moremo določiti sta: presek poljubne linije z navpično linijo, katere nagib je neskončen, ali presek poljubne linije z vodoravno linijo, ki nima nagiba.

Izračun preseka linij je vključen tudi v postopke prekrivanja poligonov dveh podatkovnih slojev. Operacije prekrivanja poligonov uporabljamo pri kombiniranju lastnosti dveh ali več podatkovnih slojev. Zato se tovrstne operacije še posebej uporabljajo v študijah vplivov na okolje ter v postopkih planiranja prostora. Postopki prekrivanja poligonov so vključeni tudi v operacije izračuna vmesnih območij (angl. 'buffer zones') in operacije v oknu. Operacije v oknu uporabljamo za odkrivanje lastnosti pojava znotraj z oknom določenega območja, lahko pa okno uporabimo kot pripomoček za izvedbo prostorskega povprečevanja oziroma kot jedro filtra.

Z algoritmom določitve točk znotraj območij smo, na primer, v Drobne, Bogataj (1994) določili število trgovin na drobno znotraj območij za ocenjevanje vrednosti stavbnega zemljišča v Ljubljani, Mariboru, Celju in Kranju (na sliki 2 je prikazan grafični rezultat za Ljubljano); v Drobne, Paliska (1997) smo določili pripadnost posameznega avtobusnega postajališča oziroma železniške postaje posameznemu Slovenskemu naselju; v Drobne, Paliska (1998) pa smo z DMR-jem 100 (Geodetske uprave RS) in postopka določitve točk znotraj območij, izračunali razpršenost nadmorskih višin v 147 slovenskih občinah. Ti podatki so nam služili pri določitvi reliefno različnih območij primernih za izračun

povprečnega faktorja vijuganja slovenskih cest (glej tudi sliko 1). Običajno služijo rezultati 'točka-v-območju' poizvedbe kot izhodišče za izračun χ^2 testa oziroma testa kontingence (glej tudi poglavje 3.9.).

3.3. Gravitacijski model

V poznih 50-tih letih se je v skupini transportnih modelov pojavil gravitacijski model, s katerim napovedujemo prometne tokove. Splošna oblika gravitacijskega modela je:

$$I_{ij} = k \cdot \frac{P_i \cdot P_j}{d_{ij}^2} \quad (3)$$

kjer je I količina interakcije (število potovanj) med krajema i in j , P_i število prebivalcev v naselju i , P_j število prebivalcev v naselju j , k je konstanta, ki jo lahko določimo izkustveno (največkrat z regresijsko analizo), d_{ij} pa razdalja med krajema i in j .

Enačbo (3) uporabljamo v različnih oblikah. Izkustveno lahko določimo tudi eksponenta za populacijska parametra, prav tako tudi za razdalje med naselji. Razen populacije lahko parametra P predstavljata tudi kakšno drugo spremenljivko, ki ima vpliv na interakcijo med krajema, podobno pa lahko v modelu obravnavamo namesto fizične razdalje tudi časovno ali stroškovno razdaljo. Gravitacijski model uporabljamo predvsem v postopkih določitve novih lokacij za storitvene dejavnosti. V takšnih študijah so območja večje gostote prebivalstva pomemben kriterij pri izbiri nove lokacije.

V Bogataj, Drobne (1997) in Drobne, Bogataj (1998) smo študirali vpliv investicij v avtoceste na interakcijo med regijami v Sloveniji. Z gravitacijskim modelom smo ob predvidenih avtocestnih povezavah med regijskimi središči v Sloveniji ugotovili, da bodo investicije v avtoceste povečale potovanja med (statističnimi) regijami v Sloveniji – vendar v podporo centralizaciji Slovenije (prav tam).

3.4. Modeli trendov površin

Enačba, ki opisuje premico v kartezičnem koordinatnem sistemu, lahko predstavlja tudi regresijsko premico. Enačbo za regresijsko premico pa zlahka razširimo z dvema neodvisnima dimenzijama, tako da dobimo enačbo interpolacije trenda ploskve v prostoru:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + e \quad (4)$$

V enačbi (4) predstavlja Y odvisno spremenljivko, katere vrednost želimo napovedati. X_1 in X_2 sta neodvisni spremenljivki, ki v GIS-u običajno predstavljata položaj. e predstavlja člen napake (tudi motnja ali disturbanca). V primeru, da Y predstavlja višino terena, potem s pomočjo regresijskega modela trenda ploskve določimo linearno interpolirano ploskev višin terena.

S pomočjo modela (4) ocenjujemo ravne ploskve v prostoru. Bolj kompleksne ploskve (z raznimi upogibi, izboklinami itd.) lahko modeliramo s polinomi višjega reda. Pri tem model (4) spremenimo tako, da X_1 in X_2 dopolnimo s potencami višje stopnje, celotni enačbi pa dodamo navzkrižne zmnožke ($X_1 \cdot X_2$, $X_1^2 \cdot X_2$ itd.).

Enačbi (4) lahko dodamo še tretjo neodvisno spremenljivko X_3 . Štiridimenzionalno ploskev, oziroma tridimenzionalno ploskev trenda, je težko upodobiti in prikazati na računalniškem ekranu ali kosu papirja. Kljub temu obstaja enostavna rešitev: rezultat lahko prikažemo po rezinah odvisne spremenljivke (npr. po časovnih presekih). Na ta način dobi

uporabnik pregled, kako se odvisna spremenljivka spreminja v treh dimenzijah.

Člen napake (tudi ostanek) v enačbi (4) pove, kako natančno smo interpolirali ploskev. S pomočjo GIS-a lahko torej upodobimo ploskev trenda, v postopkih prostorskih analiz pa nas običajno zanimajo predvsem ostanki oziroma napake (Bailey, Gatrell 1995). S pomočjo upodobitve ostankov dobi uporabnik boljši pregled nad prilagajanjem modela stvarnosti.

V primeru, da imamo v enačbi (4) samo eno neodvisno spremenljivko, lahko modeliramo spreminjanje odvisne spremenljivke, na primer ekonomske rente, v odvisnosti od razdalje – s tem dobimo Von Thünenov model rente; diskusijo o računalniško podprtih odločitvenih modelih prostorske ekonomike smo objavili v (Bogataj, Drobne 1992).

3.5. Povprečje utežnih razdalj

Postopki izračunov povprečja utežnih razdalj so izvedeni predvsem v postopkih interpolacije ploskev, kjer želimo ploskve zgladiti, kljub temu pa poudariti razmerja med signalom in šumom. Enačba izračuna povprečja utežnih razdalj ima obliko:

$$Y_k = \sum \frac{Y_i}{D_k} / \sum \frac{1}{D_k} \quad (5)$$

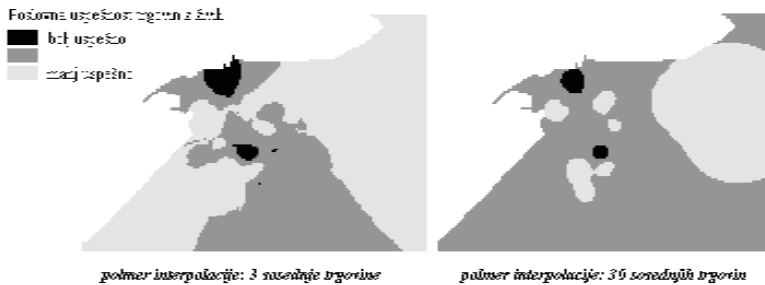
kjer je Y_k vrednost, ki jo ocenjujemo, i indeks za točko, katere vrednost ocenjujemo, k indeks za točko, katere vrednost poznamo, in D razdalja med znano in neznano točko.

Iz enačbe (5) lahko ugotovimo, da je pri tovrstni interpolaciji vrednosti med danimi položaji pomembno, koliko sosednjih točk vključimo v interpolacijo. Na primer, prostorski analitik, ki ocenjuje neznane vrednosti med znanimi pojavi z danimi položaji s pomočjo tehnike povprečja utežnih razdalj, izdelava rastrski podatkovni sloj. Vsaka točka v tem sloju predstavlja z razdaljo uteženo povprečje vrednosti v sosednjih bližnjih točkah v nizu podatkov. Osnovno načelo metode izračuna povprečja utežnih razdalj je v dodelitvi večjih uteži danim vrednostim na bližjih položajih ter manjših uteži vrednostim na bolj oddaljenih položajih od znane točke. Rezultat takšne operacije v GIS-u je v veliki meri odvisen od uteži, ki jih porazdelimo razdaljam ter od polmera območja interpolacije. Slika 3 prikazuje rezultat interpolacije poslovne uspešnosti trgovin z živili v Kopru po metodi povprečenja utežnih razdalj za dva različna polmera interpolacije, tj. treh in 30 sosednjih trgovin (obkraj s pomočjo tehnike bližnjih sosedov).

3.6. Izračun naklona in usmerjenosti

Naklon terena na posamezni točki terena je določen s tangentno ravnino na teren, ki jo definirata gradient in usmerjenost. Gradient je naklonski kot normalnega vektorja, ki kaže smer padnice. Usmerjenost ali azimut naklona terena je normalni vektor terena, ki ga uporabimo pri izračunu naklona terena, projiciran na horizontalno ravnino.

Za izračun teh lastnosti poznamo več različnih metod (Skidmore 1989), ki jih izbiramo predvsem glede na zapis digitalnih podatkov. V rastrskem GIS pristopu lahko s pomočjo digitalnega modela višin (DMV) ali digitalnega modela reliefa (DMR) ter z uporabo okna različnih dimenzij izračunamo lokalni trend ploskve. Ocenjene parametre ploskve trenda vnesemo v formulo (4) ter izračunamo naklon in usmerjenost. V primeru, da uporabimo enak zapis kot v poglavju 3.4., potem izračunamo naklon terena po enačbi (6) in usmerjenost terena po enačbi (7).



Slika 3: Interpolacija poslovne uspešnosti trgovin z živili v Kopru po metodi povprečenja utežnih razdalj za dva različna polmera interpolacije (Vir: Drobne et al. 1997).

$$\text{naklon} = \sqrt{b_1^2 + b_2^2} \quad (6)$$

$$\text{usmerjenost} = \arctan\left(\frac{b_2}{b_1}\right) \quad (7)$$

Postopka izračuna naklona in usmerjenosti sta v GIS-u izvedena predvsem v algoritmih, s pomočjo katerih izvajamo analize morfologije ploskev. Ti dve enačbi pa predstavljata le majhen del operacij, ki jih lahko izvajamo v tovrstnih analizah; več o primerih uporabe v Sloveniji v Radovan (1992).

3.7. Normalna porazdelitev

S krivuljo normalne porazdelitve lahko (teoretično) opišemo veliko različnih (predvsem naravnih) pojavov in njihovih odklonov od mere srednje vrednosti. Normalna porazdelitev temelji na predpostavki, da ekstremne vrednosti niso pogoste. V prostorskih statističnih analizah v GIS-u je ta princip izveden predvsem v upravljanju in ocenjevanju nepristranskih in nesistematičnih numeričnih inherentnih napak (Drobne et al. 1997; glej tudi Podobnikar 1998). Največkrat jih ocenjujemo s pomočjo verjetnostnih metod, to je s pomočjo primerjave vrednosti opazovanj s pričakovanimi vrednostmi. Takšen kazalec nezanesljivosti večjega niza pričakovanih vrednosti je odklon od prave vrednosti (angl. 'Root Mean Square' error – RMS error), ki ga imenujemo tudi srednji pogrešek. Ta je v primeru normalne porazdelitve enakovreden standardnemu odklonu. Pri normalni porazdelitvi vrednosti leži 68 % vseh opazovanj na intervalu $\mu \pm \sigma$, kjer je μ aritmetična sredina ali poprečje, σ pa standardni odklon ali standardna deviacija.

V Arc/Infu lahko predstavlja primerjava odklonov od pravih vrednosti oslonilnih točk izhodišče za izračun položajne natančnosti v analizo vključenih podatkovnih slojev.

3.8. Standardizacija podatkov

S pomočjo formule (8) lahko standardiziramo vrednosti različnih spremenljivk. Pri tem spremenimo spremenljivke, katerih vrednosti imajo zaradi meritev v različnih merskih sistemih različno razpršenost, v enotno mersko skalo. V formuli (8) predstavlja X_i posamezna opazovanja, μ aritmetično sredino teh opazovanj, σ pa standardni odklon

opazovanj od aritmetične sredine.

$$Z_i = \frac{X_i - \mu}{\sigma} \quad (8)$$

V GIS-u je formula (8) pomembna pri analizi skupin, kjer temelji mera različnosti na evklidski razdalji med opazovanimi objekti (glej formulo (1)). V primeru, da v analizi skupin obravnavanih spremenljivk ne standardiziramo, imajo tiste z večjo mero razpršenosti večji vpliv na rezultat.

Ob predpostavki, da se vrednosti opazovane spremenljivke porazdeljujejo normalno, lahko s formulo (8) pretvorimo opazovane vrednosti v standardizirano normalno porazdelitev. Nato lahko s pomočjo tablic za standardizirano normalno porazdelitev določimo verjetnost, da leži neka vrednost opazovane spremenljivke na izbranem intervalu. (Standardizirana) normalna porazdelitev pa je temelj drugim teoretičnim porazdelitvam, ki so izvedene v številnih testih inferenčne statistike (glej, na primer, Petz 1985). V nadaljevanju sta opisana test kontingence (χ^2 test) in test variance (F test).

3.9. χ^2 test

S pomočjo χ^2 testa ali testa kontingence primerjamo porazdelitev opazovanih vrednosti s pričakovano porazdelitvijo. Na ta način ugotovimo, ali se opazovana spremenljivka porazdeljuje normalno, ali kako drugače. χ^2 porazdelitev, ki jo pogosto uporabljamo tudi pri neparametričnih testih hipotez, predstavlja vsoto kvadratov slučajnih spremenljivk, ki se porazdeljujejo standardizirano normalno (glej enačbo (8)):

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e} \quad (9)$$

kjer je f_o frekvenca opazovanj, f_e pa pričakovana oziroma teoretična frekvenca opazovanj.

V GIS orodjih je χ^2 test izveden v analizah prostorske korelacije nominalnih vrednosti (Bailey, Gatrell 1995; Chou 1997). Osnovni cilj analize prostorske korelacije je odkrivanje odnosov med različnimi tipi prostorskih objektov, ki so organizirani v različnih podatkovnih slojih. Razumevanje odnosov med različnimi prostorskimi objekti pa je pomembno pri prostorskem modeliranju.

V Drobne, Bogataj (1994) smo pokazali, da se je vpliv položaja na poslovno uspešnost trgovin na drobno v letih 1981 in 1989 v Ljubljani spremenil. Leta 1981 so bile trgovine na drobno zunaj mestnega središča manj uspešne kakor tiste v njem, leta 1991 pa je veljalo nasprotno ($c^2 = 6,20$; $a < 0,10$). V Drobne, Paliska (1997) pa smo dokazali, da v Sloveniji obstoja značilna korelacija med načinom prevoza dnevnih potnikov na delo oziroma v šolo in bližino avtobusne oziroma železniške postaje v naselju ($c^2 = 34.060,58$; $a \ll 0,001$). Preglednica 1 predstavlja kontingenčno tabelo med načinom prevoza potnikov na delo (v šolo) in bližino avtobusne oziroma železniške postaje v slovenskih naseljih izvora v letu 1996.

| | avto | avtobus | vlak | ostalo | skupaj |
|---------------------------|---------|---------|--------|--------|---------|
| avtobusna in žel. postaja | 41.159 | 57.793 | 15.644 | 11.918 | 126.514 |
| avtobusna postaja | 109.916 | 172.870 | 7.465 | 44.999 | 335.250 |
| železniška postaja | 500 | 304 | 959 | 187 | 1.950 |
| brez | 35.828 | 46.941 | 5.199 | 23.229 | 111.197 |
| skupaj | 187.403 | 277.908 | 29.267 | 80.333 | 574.911 |

Preglednica 1: Kontingenčna tabela med načinom prevoza potnikov na delo (v šolo) in bližino avtobusne oziroma železniške postaje v slovenskih naseljih izvora v letu 1996 (Vir: Drobne, Paliska 1997).

3.10. Klasifikacija podatkov in F test

Formula (10) je temeljna formula številnim metodam klasifikacije podatkov v GIS-u:

$$F = \frac{\overline{\sigma}_r^2}{\sigma_{\bar{x}}^2} \quad (10)$$

kjer je $\overline{\sigma}_r^2$ povprečna varianca znotraj razredov in $\sigma_{\bar{x}}^2$ varianca med razredi.

Določanje meja razredov oz. klasifikacija je analitična operacija združevanja vrednosti (atributa) v posamezne razrede (kategorije). Spreminjanje meja razredov oz. reklasifikacija pa pomeni združevanje razredov. Primer prvega je uvrščanje vrednosti DMR-ja v višinske pasove, primer drugega pa pretvorba zapletene razdelitve rabe zemljišča v bolj preprosto shemo.

Postopke, ki vključujejo tovrsten statistični test, najdemo v GIS orodjih pri analizah gruč, analizah trendov površin (glej tudi poglavje 3.4.), regresijskih analizah in diskriminatorskih analizah.

3.11. Pravilo velikostne razvrstitve

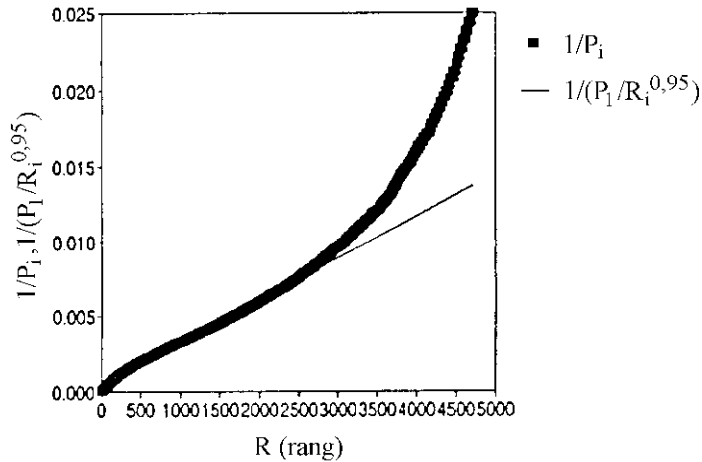
Po pravilu velikostne razvrstitve so velike stvari bolj redke od majših. To pravilo opisuje formula:

$$P_i = \frac{P_1}{R_i} \quad (11)$$

Pri tem je P_i velikost R -tega elementa v ranžirni vrsti opazovanj, P_1 velikost največjega elementa in R_i rang i -tega elementa.

Formula (11) opisuje log-normalno porazdelitev, s pomočjo katere lahko opišemo podatke shranjene v GIS-u. Izvedbo formule zasledimo v številnih urbanih in regionalnih študijah, ki obravnavajo hierarhijo naselij. V primeru, da predstavlja v formuli (11) P_i število prebivalcev v največjem naselju obravnavane regije, opisuje ta formula odvisnost števila prebivalcev v ostalih naseljih obravnavane regije (P_i) od njihovih rangov (R_i).

V Bogataj, Drobne (1990) smo preizkusili ali lahko s tem modelom opišemo hierarhijo naselij v Sloveniji. Glede na podatke iz popisa 1981 smo ugotovili, da lahko z rang pravilom pojasnimo najmanj 94,4 % razpršenosti v velikosti naselij Slovenije. Poiskali smo tudi eksponent ranga, ki daje boljšo korelacijo na širšem intervalu. S tem smo uspeli približati



Slika 4: Rang pravilo v hierarhiji slovenskih naselij glede na podatke o številu prebivalstva iz popisa 1981 (Vir: Bogataj, Drobne 1990).

pričakovano krivuljo dejanskemu stanju kar za 2.300 največjih naselij, za celotno območje pa zboljšati dterminacijski koeficient za nekaj odstotkov. Rezultat je prikazan na sliki 4.

3.12. κ test

Daljinsko zazanavanje je že od nekdaj testno povezano z GIS-om. V zgodnjih sistemih za daljinsko zaznane podobe prepoznamo namreč začetke rastrskega GIS-a (Kvamme et al. 1997). Ena izmed najpomembnejših nalog digitalne obdelave podob je klasifikacija večspektralnih posnetkov v skupine (npr. vegetacijske skupine). Rezultat lahko primerjamo z vzorčnimi podatki iz stvarnega sveta. Primerjavo tovrstnih opisnih podatkov izvedemo v klasifikacijski matriki, kjer vrstice predstavljajo stvarne kategorije, stolpci pa napovedovane kategorije (dobljene po klasifikaciji satelitskega posnetka). Diagonalni elementi v klasifikacijski matriki predstavljajo pravilno klasifikacijo (po modelu napovedana kategorija je enaka stvarni kategoriji), ostali elementi v matriki pa napako v napovedovalnem modelu. Verjetnost napačne klasifikacije lahko izračunamo s pomočjo Cohenovega kapa testa.

$$\kappa = \frac{d - q}{N - q} \quad (12)$$

Pri tem je d število primerov navedenih v diagonalnih elementih klasifikacije matrike, N skupno število primerov obravnavanih v klasifikacijski matriki in q pričakovano število primerov diagonalnih elementov, ki ga dobimo z množenjem odgovarjajočih vsot stolpcev in vrstic in deljenjem s številom N . V GIS postopkih se uporabljajo še drugi verjetnostni testi napačne klasifikacije posnetkov.

4. Sklep

V prispevku smo prikazali izvedbo ter uporabo nekaterih temeljnih formul prostorskih analiz v GIS-u. Število obravnavanih formul oziroma modelov, kot tudi njihovi primeri, so zaradi prostorske omejitve skopi. Zato smo v prispevku hote (ali verjetno tudi nehoti)

izpustili kakšno formulo oziroma model, ki bi po svoji naravi še sodil v to skupino. Sem bi lahko še vključili nekatere formule za projekcijo prostorskih podatkov, affine in nelinearne transformacije, izbrane modele opisa fraktalov in določitve njihovih dimenzij, različne enostavnejše optimizacijske modele, formulo Poissonove porazdelitve, s katero generiramo prometne tokove pri simulacijah in drugih prometnih študijah, in druge.

Namen prispevka pa ni bil podati celovit pregled nad obravnavano tematiko – saj si temeljit bralec lahko to poišče v ustrezni strokovni literaturi (nekateri predlogi so zapisani v poglavju Literatura in viri) – temveč vzpodbuditi tistega, ki se spušča na široko področje prostorskih analiz v GIS-u, h kritični presoji izvedbe postopkov prostorskih analiz v sodobnih GIS orodjih ter njihovi pravilni uporabi.

Literatura in viri

- Bailey, T.C. 1994: *A Review of Spatial Statistical Analysis in GIS*. V A.S. Fotheringham, P.A. Rogerson (ur.) 1994, *glej referenco*.
- Bailey, T.C., A.C. Gatrell 1995: *Interactive Spatial Data Analysis*. Longman. London.
- Berry, J.K. 1987: *Fundamental Operations in Computer-Assisted Map Analysis*. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1(2).
- Berry, J.K. 1995: *Spatial Reasoning for Effective GIS*. GIS World Books. Fort Collins, Colorado.
- Bogataj, M., S. Drobne 1990: *Hierarhija in razvoj slovenskih naselij v luči urbane ekonomike*. *Geodetski vestnik* 34(2/3). Ljubljana.
- Bogataj, M., S. Drobne 1992: *Register zgradb v računalniško podprtih odločitvenih modelih prostorske ekonomike*. *Dela* (9), Oddelek za geografijo. Ljubljana.
- Bogataj, M., S. Drobne 1997: *The influence of investments in highways on gravity and interaction in Slovenia*. *Proceedings SOR'97, International Symposium on Operational Research*. Preddvor.
- Chou, Y.H., 1997: *Exploring Spatial Analysis in Geographic Information Systems*. On-Word Press. Santa Fe.
- Craglia, M., H. Couclelis (ur.) 1997: *Geographic Information Research – Bridging the Atlantic*. Taylor & Francis. London.
- Cressie, N.A.C. 1993: *Statistic for Spatial Data*. John Wiley & Sons. New York.
- Drobne, S., M. Bogataj 1994: *Register nepremičnin kot podpora pri analizi vpliva lokacije na poslovno uspešnost trgovin na drobno*. *GIS v Sloveniji 1993-94, Zbornik del*. Ljubljana.
- Drobne, S., M. Bogataj 1998: *The real trip growth influenced by highway completion*. *Workshop on operations Research*. Seggau, Avstrija.
- Drobne, S., D. Paliska 1997: *GIS Support for Analysis of Passenger Flows*. *International Conference on Traffic Science '97*. Portorož.
- Drobne, S., D. Paliska 1998: *Winding Factor of Road*. *GIS Planet'98, sprejeto v objavo*. Lisbon.
- Drobne, S., T. Podobnikar, S. Marini 1997: *Prostorske analize v geografskih informacijskih sistemih*. *Geodetski vestnik*, 41(4). Ljubljana.
- Eastman, R.J. 1997: *Idrisi For Windows*. Clark University. Worcester.
- Fischer, M., H.J. Scholten, D. Unwin 1996: *Spatial Analytical Perspectives on GIS*. *GIS-DATA series: 4*, Taylor & Francis. London.

- Fotheringham, A.S., P.A. Rogerson (ur.) 1994: *Spatial Analysis and GIS*. Taylor & Francis. London.
- Frank, A.U. 1995: *GeoInfo: GIS-Materials for a Post-Graduate Course. No. 2: GIS-Technology*. Technical University Viena. Viena.
- Kvamme, K., K. Oštir-Sedej, Z. Stančič, R. Šumrada 1997: *Geografski Informacijski Sistemi*. Znanstvenoraziskovalni Center SAZU. Ljubljana.
- Langran, G. 1989: *A Review of Temporal Database Research and Its Uses in GIS Applications*. *International Journal of Geographical Information Systems*, 3.
- Laurini, R., D. Thompson 1996: *Fundamentals Of Spatial Information Systems*. Academic Press. San Diego.
- Lovett, A.A. 1995: *Spatial Analysis*. V A.U. Frank 1995, glej referenco.
- Maguire, D.J., M.F. Goodchild, D.W. Rhind (ur.) 1991: *Geographical Information Systems: Principles and Applications*. Longman. London.
- Manfred, M., M. Fischer, H.J. Scholten, D. Unwin 1996b: *Geographic Information Systems, Spatial Data Analysis and Spatial Modelling: An Introduction*. V M. Fischer, H.J. Scholten, D. Unwin 1996, glej referenco.
- O'Kelly, M.O. 1994: *Spatial Analysis and GIS*. V A.S. Fotheringham, P.A. Rogerson (ur.) 1994, glej referenco.
- Openshaw, S. 1991: *Developing Appropriate Spatial Analysis Methods for GIS*. V D.J. Maguire, M.F. Goodchild, D.W. Rhind (ur.) 1991, glej referenco.
- Openshaw, S., G. Clarke 1996: *Developing Spatial Analysis Functions Relevant to GIS Environment*. V M. Fischer, H.J. Scholten, D. Unwin 1996a.
- Podobnikar, T. 1998: *Metode Monte Carlo simulacij v prostorskih analizah*. Magistrska naloga, FGG-Oddelek za geodezijo. Ljubljana.
- Podobnikar, T., S. Drobne 1998: *Prostorske statistične analize v GIS-u*. V pripravi za objavo v *Geodetskem vestniku*.
- Petz, B. 1985: *Osnovne statistične metode za nematematičare*. Sveučilišna naklada Liber. Zagreb.
- Radovan, D. 1992: *Kako tudi s slabšim DMR do uspešnih aplikacij*. V *GIS v SLO 1992*, glej referenco.
- Rogerson, P.A., A.S. Fotheringham 1994: *GIS and Spatial Analysis: Introduction and Overview*. V A.S. Fotheringham, P.A. ROGERSON, glej referenco.
- Skidmore, A.K. 1989: *A Comparison of Techniques for Calculating Gradient and Aspect from a Gridded Digital Elevation Model*. *International Journal of Geographical Information Systems*, 4(3).
- Unwin, D. 1997: *GIS and Spatial Statistical Analysis*. V M. Craglia, H. Couclelis 1997, glej referenco.
- Waters, N. 1994a: *Statistics: How Much Should a GIS Analyst Know?* *GIS World*, March, 7(3)62.
- Waters, N. 1994b: *Does GIS Make Us Smart?* *GIS World*, June, 7(6)60.
- Waters, N. 1994c: *What Are the 10 Most Beautiful Formulae in GIS?* *GIS World*, November, 7(11)62.
- Waters, N. 1995: *The Most Beautiful Formulae in GIS*. V J.K. Berry 1995, glej referenco.
- Worboys, M.F. 1997: *GIS – A Computing Perspective*. Taylor & Francis. London.

GEOGRAFSKI ATLAS SLOVENIJE

Drago Kladnik in Matjaž Skobir
Inštitut za geografijo
Trg francoske revolucije 7, Ljubljana
drago.kladnik@uni-lj.si
matjaz.skobir@uni-lj.si

Izvleček

UDK 912(497.4)

Geografski atlas Slovenije je eden naših večjih kartografsko-založniških projektov, ki ga lahko brez zadrege označimo kot nacionalni atlas naše mlade države. Skoraj vsi zemljevidi (z izjemo starih, srednjeveških kart in nekaterih novejših v klasični kartografski tehniki) so izdelani v digitalni tehniki, pri čemer je bila izjemnega pomena uporaba geografskih informacijskih sistemov. S takšnim pristopom je mogoče brez večjih naporov izvajati morebitne popravke in dopolnitve. Pomembna pri tem je ustrezna priprava podatkovnih baz. Ves projekt je bil izdelan s pomočjo osebnih računalnikov. Prav sorazmerno šibki računalniki so s svojo pomanjkljivo zmogljivostjo predstavljali pomemben omejitveni dejavnik.

Ključne besede: geografija, nacionalni atlas, kartografija

Abstract

UDC 912(497.4)

Geographic Atlas of Slovenia

Geographic Atlas of Slovenia is a big project which, without any doubt, can be treated as a national atlas. Almost all maps (with exception of old, medieval illustrations and some new maps in classic cartographic technique) are elaborated with digital technology, where the role of Geographic Information System was of the greatest importance. Therefore it is possible making corrections and applications without bigger effort, although a special emphasis should be put on preparation of adequate data basis. The project was made with personal computers only. We can say that relatively poor computer equipment was one of the important problems and we used computers capacities almost to their limits.

Key words: geography, national atlas, cartography

1. Uvod

Slovinci se moramo zavedati, da smo v samostojni državi postavljeni pred številne nove izzive in naloge. Vsemu svetu in ne nazadnje tudi sami sebi moramo neprestano dopovedovati in pojasnjevati kdo smo, kakšni smo, kako smo organizirani, v kakšni pokrajinski stvarnosti ustvarjamo in s kakšnimi naravnimi bogastvi razpolagamo. Seveda se ne moremo ogniti temnim platem razvrednotenja okolja. Geografski atlas, eden temeljnih dokumentov mlade države v osrčju evropske celine, je za udejanjanje te zahtevne naloge idealno sredstvo. Je projekt, ki so ga doslej uresničile že mnoge države. Če se ozremo le po naših sosedah, so to Avstrija, Italija in Madžarska, izšel pa je tudi že nacionalni atlas Hrvaške (1993), ki je po vsebini in kartografskih prikazih sorazmerno skromen, a je v celoti napisan v angleškem jeziku. Z Geografskim atlasom Slovenije se bomo tudi mi postavili ob bok tistim narodom oziroma državam, pri katerih je projekt nacionalnih atlasov kontinuiran proces, ki ga spremlja tudi kontinuirano znanstvenoraziskovalno delo. To pomeni, da se tudi s predvidenim izidom knjige konec leta 1998 delo na projektu ne

bo povsem končalo, ampak ga bomo z različno intenzivnostjo za potrebne posodobitve nenehno nadaljevali.

Geografski atlas Slovenije (delovni naslov projekta je bil Nacionalni atlas Slovenije ali na kratko NAS) je temeljno nacionalno razvojno-raziskovalno delo, ki je namenjeno predstavitvi številnih strok ter njihovih znanstvenih in strokovnih spoznanj o naši prostorski stvarnosti. Seveda je v osrčju geografija, ki je večino vključenih tematik tudi že znanstveno obdelala ali pa so jih na prostorsko relevanten način predstavili njeni strokovnjaki. S presekom prostorskih sestavin atlas predstavlja celovit dokument o naših topografskih, zgodovinskih, naravnih, prebivalstvenih, socialnih, gospodarskih, poselitvenih in okoljskih značilnostih. S tem je pomemben ne le za poglobljeno razumevanje naše stvarnosti, pač pa je tudi nepogrešljiv vir za načrtovanje prostorskega razvoja, strokovno izobraževanje na različnih nivojih in za osveščanje najširšega kroga uporabnikov, občanov, da naša sicer majhna, a nenavadno pestra država s svojimi darovi narave, a tudi s precejšnjo mero ranljivosti, zasluži občuteno, premišljeno odzivanje vseh njenih prebivalcev.

Morda še najpomembnejša je promocijska vloga projekta. Njegovi snovalci nenehno spremljamo bolj ali manj neuspešne in necelovite poskuse predstavitve, umestitve in zagotavljanja primernih ločljivosti in prepoznavnosti naše države. Kar naprej poslušamo, da nas kljub precejšnjemu trudu ne poznajo dovolj niti v neposredni soseščini, kaj šele v bolj oddaljenih deželah. Res je sicer, da so pri tem politični dejavniki nekoliko bolj prožni, a prizadevati si moramo tudi za osveščanje drugih, strokovnih in laičnih krogov širom sveta.

2. Dosedanja prizadevanja

Prva razmišljanja o nacionalnem atlasu segajo tudi pri nas že v 19. stoletje, vendar so misli dobivale bolj realno podobo šele z razvojem domače geografske znanosti. Bolj otipljive ideje segajo v čas med svetovnima vojnama, a okoliščine še zdaleč niso dozorele, saj so bile težave tako s pomanjkljivimi kartografskimi zmožnostmi kot s skromnimi podatkovnimi viri. Povsem resno se je lotila projekta generacija slovenskih geografov na koncu šestdesetih let in skozi vsa sedemdeseta leta 20. stoletja, a do publiciranja izjemno bogatega gradiva, tudi zaradi zastarelosti gradiva spričo dolgotrajnega nastajanja, ni nikoli prišlo.

Sprva je bila predvidena izdaja stotih listov z zemljevidi v merilih 1 : 400.000, 1 : 750.000, 1 : 1.000.000 in 1 : 1.250.000, s spremljajočimi besedili v slovenskem, srbskohrvaškem in angleškem jeziku na hrbtni strani posameznih listov. Snovalci so se zavedali njegovega pomena, pri čemer so izpostavili mednarodni pomen dokumenta o našem prostoru, naravne razmere in družbene procese. Podrobno naj bi bil predstavljen prikaz izredno naglega razvoja Slovenije, ki je v kratkem času dosegla takšno preobrazbo iz zaostale agrarne v industrijsko deželo, kakršno so bolj razvite zahodnoevropske države v stotih letih. Pozneje se je število načrtovanih listov skrčilo na 59. Opravljenega je bilo veliko dela, vendar zaradi dolgotrajnosti projekta, s čimer sta predvsem družbena in gospodarska problematika zastarali, pa tudi zaradi (pre)velikih stroškov tehnične realizacije, saj je bil oprt le na klasično kartografijo, do dokončne realizacije ni prišlo. Zaradi razmeroma majhne predvidene naklade projekt za založbe ni bil zanimiv, država pa je vseskozi izražala zgolj načelno podporo.

Stroški tehnične realizacije so namreč večkratno preseglj potrebna sredstva za pripravo avtorskih originalov zemljevidov in spremljajočih besedil. Ko je v osemdesetih letih

prišlo do ponovnega poskusa zainteresirati državne organe kot glavne financerje, se je pokazalo, da sta okrog dve tretjini zemljevidov potrebni temeljite posodobitve, kar je za že opravljeno delo zahtevalo veliko dodatnega tehničnega dela in seveda velike denarne vložke. Kljub temu, da so bili za številne liste izdelani založniški, za nekatere pa tudi tiskarski originali, je prišlo le do poskusnega tiska posameznih listov. Naj omenimo še, da so v prejšnji državi, kljub nedokončanemu projektu, že razmišljali o pripravi Nacionalnega atlasa Jugoslavije.

Kaže, da so nastopili primerni časi za dokončno izvedbo dolgoletnih načrtov šele s pojavom avtomatizirane kartografije, ki je omogočila bistveno hitrejšo, enostavnejšo in s tem cenejšo izvedbo.

V drugih strokah je bilo dosedanje prizadevanje usmerjeno predvsem v prikaz posameznih prostorskih sestavin in njihovih razsežnosti. Naša država je v Atlasu Slovenije s kartami v merilu 1 : 50.000 že predstavljena z vidika topografije, a tovrstnega pristopa nikakor ne smemo zamenjevati z vsebinami nastajajočega Geografskega atlasa. V Malem atlasu Slovenije je naša država umeščena v Evropi in predstavljena na zemljevidih v merilih 1 : 500.000 in 1 : 300.000. Več tematskih kart je tudi v Timesovem atlasu sveta za šolo in dom (1995) in v različnih atlasih za šolsko rabo. Tudi v 11. zvezku Enciklopedije Slovenije osrednje geslo Slovenija spremlja lepo število podrobnih in ličnih tematskih zemljevidov, izdelanih v digitalni tehniki. Ogromno kartografskega dela je bilo opravljenega tudi v prostorskem načrtovanju, vendar do celovitega, sistematičnega in podrobnega prikaza doslej še ni prišlo. Celo vrsto zemljevidov so izdelale in založile tudi posamezne stroke, ki jim je prostorska komponenta eno izmed temeljnih vodil.

2.1. Dogajanja drugod po svetu

Poudariti je potrebno, da nacionalni atlasi v tujini doživljajo korenite konceptualne spremembe. Nekdanje stroge in toge zasnove nadomeščajo sodobnejši, bolj razgibani dosežki. Najprej so prevladovali izdelki z množico predvsem analitskih tematskih zemljevidov, med njimi tudi mnogih ne dovolj utemeljenih. Kot v novejšem času jih je bilo mogoče izdelati na podlagi bogatega statističnega gradiva, vendar so se vsebinsko pogosto prekrivali. Seveda so bili izdelani v klasični večbarvni kartografski tehniki. Besedilo se je pretirano osredotočalo na prikaz značilnosti pojavov na zemljevidu samem in na pojasnjevanje izbranih metod prikaza. Drugih grafičnih prilog skorajda ni bilo. Tovrstni dosežki so bili sicer zanimivi za strokovno, ne pa tudi za širšo javnost, zato je bila država skoraj v vseh primerih izključni financer. Založbe za izdaje niso kazale večjega interesa.

V novejšem času se je s komercializacijo ter razvojem znanosti in tehnologije povečala potreba po privlačnosti izdelka, kjer imajo raziskovalni dosežki možnost prikazati le krajša, sintetična spoznanja na poljudnoznanstven način, s čimer se je krog uporabnikov bistveno razširil. Z nekonvencionalnim oblikovanjem in bogatejšo opremo (grafikoni, diagrami, kartogrami, fotografijami, skicami...) se je sporočilnost mnogih zemljevidov močno povečala. Grafične priloge imajo predvsem vlogo popolnejšega dokumentiranja vsebine in izboljšane nazornosti preučevanih pojavov, čeprav ne smemo prezreti njihove doživljajske sporočilnosti. S takšno zasnovo so nacionalni atlasi prava ogledala posameznih držav, kot tržno zanimivi projekti z visokimi nakladami pa so postali domena zmogljivih založb, s čimer so se, sicer nujno potrebni finančni vložki države, precej zmanjšali.

3. Sodoben razvoj geografije in kartografije v luči realizacije projekta

Medtem je tudi geografija naredila velik korak naprej. Vzporedno z razvojem digitalne kartografije in aplikativnih dosežkov nekaterih geografov je prišlo do spoznanja, da lahko stroka tudi sama prevzame izdelavo tako obsežnega projekta, kakršen je nacionalni atlas, obenem pa so se stkale poslovne vezi z založbami, temelječe na vzajemnih interesih.

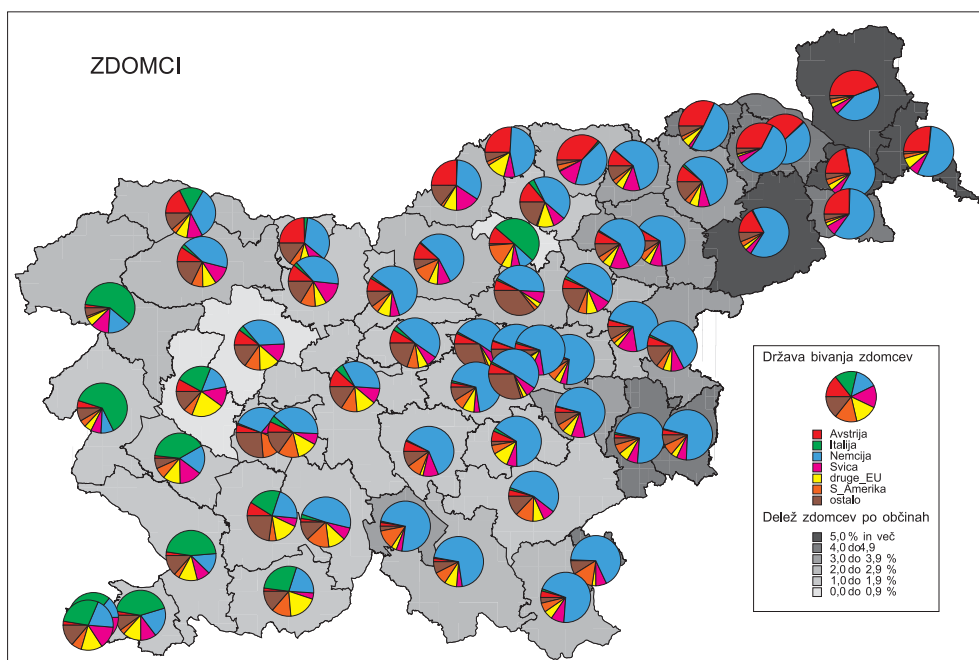
V devetdesetih letih smo geografi sodelovali pri snovanju in pripravi tržno izjemno zanimivih projektov: Velikega družinskega atlasa sveta (1991), turističnega vodnika Slovenije (1996), posodobljenega Krajevnega leksikona Slovenije (1995) in regionalne geografske monografije Slovenija – pokrajine in ljudje, v katerih smo možnosti računalniške kartografije tudi že praktično preizkusili. Prvo in tretjo navedeno publikacijo je založila DZS (drugo in četrto Mladinska knjiga), zato ni slučaj, da ta založba kot glavni sofinancer zaključne faze sodeluje tudi pri pripravi tega temeljnega geografskega projekta. V prvi fazi je bilo izključni financer Ministrstvo za znanost in tehnologijo.

4. Bistvene značilnosti projekta

Zasnova Geografskega atlasa Slovenije je sodobna, hitro razvijajoča se tehnologija pa je omogočila dokončno realizacijo v samo nekaj letih. Z deli smo začeli sredi leta 1993 in doslej opravili celotno avtorsko fazo, mnogo pa je bilo postorjenega pri nadaljnji obdelavi zbranega gradiva, tako da smo konec junija opravili celotno prvo postavitev nastajajoče knjige.

Poudariti je potrebno, da je Geografski atlas Slovenije tudi eden od temeljnih projektov DZS-ja, saj mora pridobiti potencialne kupce predvsem s svojstveno problematiko in tematsko zasnovo knjige, saj je na področju poimenovanja najrazličnejših atlasov že prišlo do prave zmede, kar njeno delo brez dvoma dodatno otežuje. Za založbo bo projekt tržno uspešen le v primeru, če knjiga izide v vsaj 10.000 izvodih. Hkrati založba vztraja, da je knjiga zaradi prevlade domačih kupcev natisnjena izključno v slovenskem jeziku. Zasnovana mora biti tako, da jo bo v naslednjih dveh do treh desetletjih možno v posodobljenih izdajah ponatisniti štiri do petkrat, kar uporaba računalniške tehnologije vsekakor omogoča. Prav zaradi nje je dokaj enostavna in razmeroma cenena tudi izdelava knjige v angleškem jeziku, saj sta potreben le strokovno dober prevod in dodatna postavitev, ni pa potrebno drugačno oblikovanje. Snovalci projekta smo mnenja, da bi šele izdaja povsem angleške publikacije predstavljala promocijsko gradivo najvišje vrednosti, zato se bomo zanj še vnaprej prizadevali.

Kot nedokončani projekt iz sedemdesetih let je tudi posodobljeni projekt nastajal v okviru Inštituta za geografijo. Nosilec projekta je dr. Andrej Černe, glavna organa pa sta osemčlansko vodstvo projekta (v katerem je tudi predstavnik založbe) in štiričlanski znanstveni svet. Vodstvo projekta skrbi predvsem za zasnovo, organizacijo in izvedbo projekta ter pripravo knjige, znanstveni svet pa je še v fazi priprave gradiv prispeval predvsem strokovno mnenje o vsebinski in kartografski zasnovi. Vodstvo projekta je k izdelavi avtorskih originalov pritegnilo 53 vodilnih strokovnjakov iz skupno 25. ustanov, med njimi štirih geografskih. Med negeografskimi (Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Urbanistični inštitut Republike Slovenije, Pedagoška fakulteta) je nekaj takšnih, kjer je vloga geografov precej pomembna. V uresničevanje projektne zamisli so vključeni tudi nekateri mladi raziskovalci. S takšno organizacijsko zasnovo projekt nedvomno



zadovoljuje načela medinstitucionalnosti in interdisciplinarnosti. Omenimo še, da je krog recenzentov posameznih prispevkov bistveno širši. V zahtevni izvedbi projekta sta z levjim deležem zastopana Inštitut za geografijo in Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU.

Vsak nacionalni atlas je skupek najrazličnejših raziskovalnih dosežkov. To načelo smo izpostavili tudi kot vodilo nastajanja sedanjega projekta, zato le-ta temelji v glavnem na že opravljenih izsledkih znanstvenoraziskovalnega dela. Takšen pristop brez dvoma omogoča cenejšo realizacijo, ker pa je znanstvenoraziskovalno delo nenehen proces in strokovni izziv, se nismo mogli pa tudi ne hoteli izogniti nekaterim povsem novim vsebinam, kakršni so na primer prikazi poledenitve in geomorfološkega preoblikovanja v kvartarju, osončenosti, telefonskega omrežja, odlagališč odpadkov, urbanizacije, ekonomske moči prebivalstva ter nekaterih sintetičnih regionalizacij in tipizacij. Za prikaze sicer že uveljavljenih pojavov smo uporabili povsem nove metodološke zasnove, katerih rezultat naj bi bili večja nazornost in zlasti lažja razumljivost, tudi za nestrokovnjake.

Ker pred sabo vseskozi vidimo predvsem potrebo po končnem izdelku, smo že kmalu izdelali dovolj natančen razrez po posameznih straneh, ki smo jih po posameznih fazah opravljenega dela že tudi sproti poskusno oblikovali. Zaradi nekaterih konceptualnih sprememb je to zahtevalo kar precej energije. Tovrstno simulacijo imenujemo dummy. Knjiga bo (s predvidenimi dodatki vred, kot so imensko kazalo, vsebinski indeks) imela okrog 350 strani.

Spremljajoče besedilo, pisano na poljudnoznanstveni način, na kratko pojasnjuje problematiko zemljevida, uporabljeno metodologijo ter bistvene strukturne in razvojne značilnosti obravnavane problematike. S tem je podana kar najbolj celovito zasnovana informacija o njej. Med besedilni del pa ne štejemo le teksta, temveč tudi vse grafične

priloge, ki naj zakonitosti preučenih pojavov dodatno osvetlijo. Teksti so precej zgoščeni, kar je spričo naravnosti vsakega atlasa, da naj predstavi predvsem grafične ponazoritve, povsem razumljivo. Bolj poglobljena razmišljanja spadajo v najrazličnejše znanstvene in strokovne publikacije, kjer so mnogi sodelavci projekta že doslej pridno objavljali. Zato bo na koncu knjige dodan obsežen seznam uporabljenih literature in virov, razvrščen po posameznih tematikah. Tu bodo predstavljene tudi nekatere dodatne podrobnosti, ki bi lahko med besedilom rušile njegovo konsistentnost ali pa zanje ni bilo dovolj prostora.

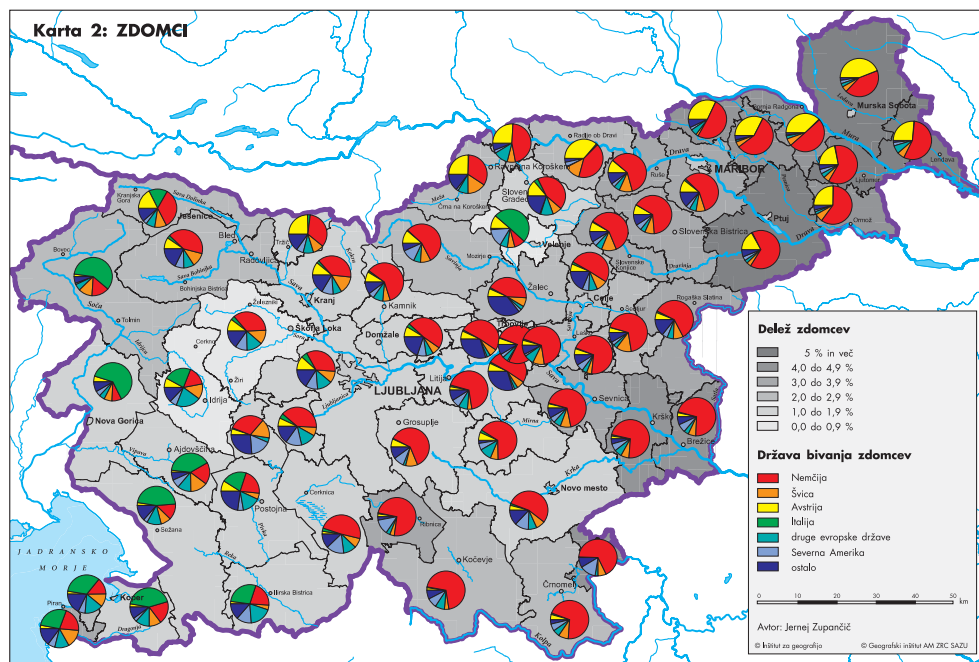
Vse karte so barvne. Tematike delimo na analitske, sintetske in kompleksne. Predviden format 27 x 37 cm omogoča, da je vodilno merilo zemljevidov Slovenije 1 : 750.000 (cela stran). Pri izboru merila je bilo pomembno vodilo tudi zagotavljanje ločljivosti prikazanih pojavov. Temeljno merilo vpliva tudi na prevladujočo obliko predstavitve posameznih pojavov, ko se na celostranski zemljevid praviloma navezuje še stran besedila, kamor uvrščamo tudi nekatere zemljevide v manjših merilih in drugo slikovno gradivo. V primerih bolj obsežnih vsebin je lahko spremljajoče besedilo nekaj daljše, večkrat pa se na zgoščeno besedilo navezuje tudi vrsta zemljevidov v nadaljevanju tematike. Precej zemljevidov bo prikazanih v merilu 1 : 1.100.000 (polovica strani) in v večjih merilih, kjer bodo predstavljene predvsem členitve po nekdanjih občinah, sedanjih upravnih enotah. Razen teh bodo predstavljeni še fizični in politični zemljevid Evrope v merilu 1 : 15.000.000, upodobitve slovenskega ozemlja na starih kartah, izseki iz temeljne topografske karte v merilu 1 : 25.000 in osnovne državne karte v merilu 1 : 5000, digitalni model reliefa (3 D), tipične vremenske situacije, Slovenci po svetu in zamejstvu, prometna lega Slovenije v Evropi, na osmih straneh letalski in satelitski posnetki Slovenije, ob tem pa še vrsta drugih dokumentov.

Praviloma so posamezni pojavi prikazani le na območju Republike Slovenije, le v posameznih primerih, kjer je iz različnih razlogov (zgodovinski, narečni, narodni, podnebni ipd.) potrebno poseči tudi v širši prostor, jih bomo prikazali tudi onstran državne meje. Glavni obdobji prikaza sta popisni leti 1961 in 1991. Njuna medsebojna primerjava nam omogoča temeljito prepoznavanje vseh najbolj pomembnih družbenih, gospodarskih in prostorskih procesov. Za leto 1961 smo se odločili zato, ker so se vse najbolj občutne spremembe dogodile prav v izbranem tridesetletnem obdobju. Prav tako so na ta niz vezane tudi najnovejše informacije o glavnih značilnostih podnebja in vodovja. S tem pa se nismo povsem odrekli tudi prikazom v drugih časovnih presekih.

Sodobne digitalne baze podatkov so nam delo močno olajšale, saj sta mogoča neposredna računalniška obdelava in prenos obdelanega gradiva na številne zemljevide. V kolikor podatki niso bili v digitalni obliki, jih je bilo potrebno dodatno obdelati. Digitalni pristop je še posebno pomemben zato, ker tudi najnovejše informacije hitro zastarajo. Tudi zato je izjemno pomembno, da z realizacijo projekta ne odlašamo. Med najrazličnejšimi viri informacij moramo izdvojiti predvsem popisne podatke Statističnega urada Republike Slovenije in digitalne podatke o reliefu, rabi tal in upravnih členitvah Geodetske uprave Republike Slovenije; nekatere smo za potrebe tega in že nekaterih prejšnjih projektov s povsem novimi rešitvami nadgradili, sistematično obdelali in tudi izpopolnili.

5. Metodološki pristop

Nesluten razvoj programske računalniške opreme in vse zmogljivejši računalniki omogočajo, da lahko tudi poznavalci računalništva, izhajajoč iz primerno zasnovane



vsebine, izdelajo primerne, grafično dovolj privlačne zemljevide. V posameznih delovnih fazah je njihovo vsebino mogoče razmeroma enostavno popravljati ali izpopolnjevati, hkrati pa je možna že popolna priprava tiskarskih originalov. Za izdelavo mnogih zemljevidov je potrebna zamudna digitalizacija, ki zahteva izjemno natančen pristop. Takšne vrste so predvsem podatki o naravnogeografskih pojavih.

Precej smo razmišljali o standardizirani kartografski podlogi, ki naj zagotovi primerno prostorsko razpoznavnost prikazanih pojavov, vendar pa na drugi strani ne sme zmanjševati njihove preglednosti. Zato je pri glavnini zemljevidov, predvsem družbenih ter gospodarskih, v podlagi samo senčen siv relief, ponekod tudi glavno vodno omrežje in standardiziran nabor večjih mest s tlorisi, krogi in imenom. Tovrsten pristop je narekoval, da je vodstvo projekta na osnovi standardiziranega oblikovnega vzorca samo opravilo tudi zahteven postopek oblikovanja, kar je stroške založnika precej zmanjšalo. Ker je celotno delo izvedeno v digitalni obliki, ga bo mogoče založiti kot CD ROM, kjer naj bi multimedijaska tehnika zagotovila tudi povsem nove ustvarjalne možnosti.

Kartografske upodobitve posameznih pojavov se delijo na ploskovne, linijske in točkovne. Prve so v ospredju pri prikazih naravnih, tretje pa pri prikazih družbenih in gospodarskih značilnosti, čeprav se tudi pri slednjih poslužujemo ploskovne tehnike, odvisno od vsebine in razpoložljive ravni podatkov. Pri mnogih ploskovnih prikazih je bilo potrebno uveljaviti načelo posploševanja (generalizacije), ker je omrežje zbiranja podatkov preveč redko. Vendar lahko rečemo, da so v večini primerov podatki zelo natančno locirani, kar še posebno velja za prikaze pojavov po posameznih krajih, kjer smo se oprli na digitalizirano omrežje centroidov naselij. Za posamezne kraje imamo na voljo tudi njihov prostorski obseg, zato smo izkoristili tudi možnosti ploskovnih ponazoritev. Ploskovni prikazi so v ospredju tudi pri ponazoritvah na ravneh upravnih enot,

od makroregij prek nekdanjih in novih občin vse do katastrskih občin. Teh je pri nas več kot 2700, kar zagotavlja solidno notranjo členitev posameznih preučevanih pojavov in ovrednotenje glavnih prostorskih zakonitosti. Sicer redke linijske ponazoritve so najbolj primerne za prikaze značilnosti različnih prometnih tokov. Priložena zemljevida s tematiko zdomstva prikazujeta kombinacijo ploskovne in točkovne metode, kar dobro ponazarja širok repertoar ponazoritvenih možnosti.

Posebno pozornost smo namenili ustreznemu izboru točkovnih prikazov na nivoju naselij. Dolgo smo kolebali med izborom konvencionalnih krogcev, ki smo jih bolj vajeni, in med izborom doslej manj uveljavljenih kvadratkov, ki zagotavljajo boljše medsebojno primerljivost, saj jih je mogoče glede na število prebivalcev linearno povečevati, medtem ko je potrebno pri uporabi krogcev naselja glede na število prebivalcev razvrstiti v ne preveliko število velikostnih razredov. Na koncu smo se odločili za krogece. Čeprav je z njimi upodobljeno sleherno naše naselje (skoraj 6000), so nekateri kraji zaradi svoje statistične majhnosti težko ločljivi ali skoraj povsem nezaznavni. Navidezna nedoslednost nosi v sebi sporočilo, da je prikaze posameznih pojavov potrebno gledati v luči njihovih notranjih zakonitosti, tako da se izluščijo večja območja s skupnimi značilnostmi, ki kažejo temeljne razlike znotraj naše sicer majhne države. S primerjavo ustreznih vsebin je mogoče opredeliti tudi bistvene medsebojne povezave pojavov in njihove medsebojne zakonitosti, kar je že pomemben korak k sintetiziranju. Pri tem strokovno hvalevrednem opravilu izkušnje žal kažejo, da se z njim bistveno zmanjšata preglednost in sporočilnost zemljevida. Prav zato skrbno izbrani prikazi posameznih pojavov še vedno ohranjajo vidno vlogo.

Atributne in prostorske podatkovne baze so bile pripravljene za uporabo v računalniškem programu MAPINFO. Zajem nekaterih podatkov je bil opravljen tudi z digitalizacijo, sicer pa smo podatkovne baze ustvarili s pomočjo programa Excel, kjer smo jih navezali na omrežje centroidov vseh naselij ali upravnih enot (stare in nove občine, katastrske občine, prostorske enote naselij), ki smo jih pridobili na Geodetski upravi Republike Slovenije. Popisne podatke po naseljih smo v tabeli opremili z ustreznimi centroidi, tako da je bilo v naslednji fazi mogoče pristopiti k izdelavi zemljevidov. Poseben sloj je predstavljal digitalni model reliefa, ki ga je pripravil Geografski inštitut AM ZRC SAZU; ta je prispeval tudi digitalizirano hidrografska omrežje in druge standardne podlage tematskih zemljevidov.

Ko so podatki urejeni in med seboj povezani, je sledila konkretna izdelava tematskih kart. S pomočjo programa MAPINFO je mogoče določene pojave prikazovati po različnih prostorskih enotah – naseljih, občinah, katastrskih občinah. Podatke se razvrsti v razrede, ki so na zemljevidu lahko prikazani z velikostjo, barvo in obliko simbola (velja za točkovne prostorske podatke) oziroma z različno barvo ali šrafuro (poligoni). Pri ponazoritvah pojavov po posameznih naseljih, se je pri uporabi krogcev pojavil problem njihovega prekrivanja - marsikje so v začetni fazi nastajanja karte večji krogeci manjše delno ali v celoti prekrili, kar lahko označimo kot precejšnjo pomanjkljivost programa MAPINFO. Problem smo rešili v fazi priprave za tisk s pomočjo programa FREEHAND, ki ima odlične iskalne funkcije. Tako smo poiskali najprej najmanjše krogece in jih predstavili na svojo plast ("layer"), nato za eno stopnjo večje krogece in jih dali na svojo plast, ... S tem postopkom smo dosegli, da so manjši krogeci vedno nad večjimi in tako so načeloma vidna prav vsa naselja. Tematiko smo predstavili še na podlage v CorelDraw. Centroidom

naselij je mogoče pripeti ime naselja avtomatsko, pri čemer je mogoče postavitev imena okrog centroida izbrati z zelenim odmikom.

MAPINFO je vektorski program; rastrske podatke lahko uporabimo le kot podlago vektorskim. Program omogoča izdelavo analiz in tematskih kart, ki jih lahko zadovoljivo oblikujemo za izpis na barvni ali črno-beli tiskalnik. Problem se pojavi, ko je potrebno zemljevide pripraviti za tisk. Za tovrstno delo smo uporabili program CorelDraw, ki pa zahteva tudi veliko dodatnega, ročnega dela.

Za merili 1 : 750.000 in 1 : 1,100.000 smo pripravili enotne podlage: relief, hidrografske omrežje, napise in tlorise pomembnejših naselij, postavitev legende in naslova, izbor tipografije črk ter barvne palete. Nanje so se prenesle tematske karte, narejene z MAPINFO-m (vektorski podatki) in s programom IDRISI (rastrski podatki: nakloni, osončenost...). Na primeru karte s strukturnimi krogi, ki prikazuje delež in države zdomcev po občinah, lahko vidimo primerjavo karte narejene s programom MAPINFO z obstoječimi oblikovnimi zmožnostmi (karta 1) in dokončno urejeno karto z risarskim programom CorelDraw (karta 2). MAPINFO avtomatsko izriše strukturne kroge, v katerih je delež zastopanosti držav zdomcev na centroide poligonov občin. Podobno je z izpisom imen naselij ali drugih oznak, ki služijo kot dodatna informacija. Risarski program CorelDraw smo uporabili tudi zaradi priprave tematskih kart za tisk, saj MAPINFO nima primernih izhodnih formatov za pripravo filmov.

Velika škoda je, da ni v okviru programa MAPINFO modula za boljše oblikovanje tematskih kart in pripravo za tisk. To bi omogočilo bistveno hitrejšo in lažjo izdelavo tematskih kart z vedno novimi popisnimi in drugimi spreminjajočimi se podatki. V bistvu bi podatkovne zbirke lahko samo posodobili in na kartah bi se že prikazalo novo stanje, kar je brez dvoma pomembna prednost uporabe GIS tehnologije. Popolnejši in kompleksnejši GIS programi to lastnost že imajo.

Literatura in viri

- A Consise Atlas of the Republic of Croatia (& of the Republic of Bosnia and Hercegovina). The Miroslav Krleža Lexicographical Institute. Zagreb, 1993.*
- Enciklopedija Slovenije, 11. zvezek. Založba Mladinska knjiga. Ljubljana, 1997.*
- Kladnik, D., Černe, A. 1995: Nacionalni atlas Slovenije - osebna izkaznica mlade države. Pomembno delo, v katerem sodeluje 53 strokovnjakov iz 25 ustanov. Delo, 13. december, str. 12. Ljubljana.*
- Orožen Adamič, M., Perko D., Kladnik, D., 1995: Krajevni leksikon Slovenije. DZS. Ljubljana.*
- MapInfo Professional, User's Guide. MapInfo Corporation. Troy, New York, 1996.*
- Popis prebivalstva, gospodinjstev in stanovanj za leti 1961 in 1991. Zavod SR Slovenije za statistiko in Statistični urad Republike Slovenije. Ljubljana.*
- Slovenija- turistični vodnik. Založba Mladinska knjiga. Ljubljana, 1996.*
- Timesov atlas sveta za šolo in dom. Uredil Karel Natek, Cankarjeva založba. Ljubljana, 1995.*
- Veliki družinski atlas sveta. Uredili M. Orožen Adamič, D. Kladnik in J. Moder, Državna založba Slovenije. Ljubljana, 1991.*

RAZPOREDITEV PREBIVALSTVA IN MOŽNOSTI IZKORIŠČANJA SONČNE ENERGIJE V SLOVENIJI

dr. Matej Gabrovec
Geografski inštitut
Znanstvenoraziskovalni center SAZU
Gosposka 13, Ljubljana
matej@zrc-sazu.si

mag. Branko Pavlin
Statistični urad Republike Slovenije
Vožarski pot 12, Ljubljana
branko.pavlin@gov.si

Matjaž Skobir
Inštitut za geografijo
Trg francoske revolucije 7, Ljubljana
matjaz.skobir@uni-lj.si

Izvleček

UDK 620.91:911.3(497.4)

Prvi model za izračunavanje sončnega obsevanja na različno nagnjenih površinah smo razvili že pred desetimi leti. Meteorološke parametre smo povzeli po modelu Hočevarja in Rakovca, reliefne pa smo izračunali s pomočjo digitalnega modela reliefa 100 x 100 m. Zaradi omejene zmogljivosti takratnih računalnikov smo lahko sončno obsevanje računali le na nekaj 10 km² velikih ozemljih. V tem članku želimo prikazati možnosti izkoriščanja sončne energije za potrebe gospodinjstev. V takem primeru je postopek nekoliko drugačen. Ne zanimata nas naklon in ekspozicija pobočij, kajti sončne celice so vedno obrnjene proti jugu. Zanimajo nas predvsem meteorološki parametri in osenčenost zaradi reliefa. Vse izračune sončnega obsevanja smo delali po dekadah in urah. Za srednji dan v vsaki dekadi smo izračunali najprej urne vrednosti energije kvaziglobalnega obsevanja, z njihovim seštevkom smo dobili dnevno vrednost, ki smo jo pomnožili z 10 oziroma s številom dni v dekadi in tako dobili dekadno energijo obsevanja, s seštevkom dekadnih vrednosti pa smo končno dobili letno energijo kvaziglobalnega obsevanja. Vsi ti izračuni so bili narejeni za vsako hektarsko celico, teh pa je v Sloveniji prek dva milijona. Zanimalo nas je, ali je poselitev Slovenije ugodna z vidika možnosti izkoriščanja sončne energije. Zato smo izračunali gostoto prebivalcev in stavb po območjih z različnim sončnim obsevanjem. To smo naredili s pomočjo popisnih podatkov, povezanih z Evidenco hišnih števil (EHIŠ). Tako smo ugotavljali smotrnost slovenske poselitve z vidika izkoriščanja sončne energije. Za posamezne lege pa smo glede na klimatske značilnosti izračunavali tudi optimalno nagnjenost sončnih celic.

Ključne besede: sončno obsevanje, gostota prebivalstva

Abstract

UDC 620.91:911.3(497.4)

*Population distribution and the possibilities of solar energy use in Slovenia
The first model for the calculation of solar radiation on the surfaces of different inclination was developed already ten years ago. The meteorological parameters followed the Hočevar*

and Rakovec model, while the elevation parameters were calculated by means of a 100-by-100 digital elevation model. Owing to the limited capacities of the then computers, only the solar radiation could be calculated for the areas of few tens of square kilometers. In the current article, we intend to present the possibilities of using solar energy for the needs of households. In such a case, the procedure is slightly different. Inclination and exposition of slopes are irrelevant, since solar cells are always oriented southwards. Particularly relevant in this case are the meteorological parameters and the shadiness due to landforms. All the calculations were made according to ten-day periods and hours. For the mean day in each ten-day period we first calculated the hourly values for the energy of quasiglobal radiation and from their sum got a daily value that we multiplied by ten, and thus received the ten-day period energy of radiation; with the sum of the ten-day period values we ultimately got the annual energy of quasiglobal radiation. All these calculations were elaborated for each hectare cell, of which there are over two million in Slovenia. Following the foregoing method, we calculated the amount of solar energy received by a surface inclined by 32° southwards, for each hectare cell in Slovenia. Separated were the areas which receive the most of solar energy. From this point onwards, our interest is focused on the number of houses and inhabitants in these areas. Key words: solar radiation, population density

1. Uvod

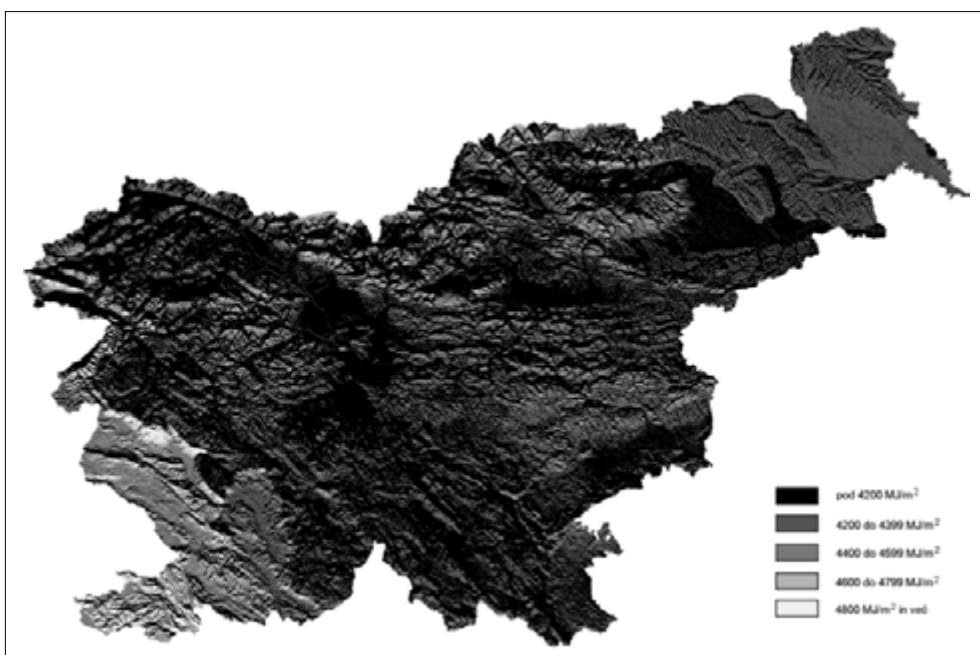
Prvi model za izračunavanje sončnega obsevanja na različno nagnjenih površinah smo razvili že pred desetimi leti. Meteorološke parametre smo povzeli po modelu Hočevarja in Rakovca (Hočevar, Rakovec 1977; Hočevar 1980), reliefne pa smo izračunali s pomočjo digitalnega modela reliefa 100 x 100 m. Zaradi omejene zmogljivosti takratnih računalnikov smo lahko sončno obsevanje računali le na nekaj 10 km² velikih ozemljih. Takraten program je bil napisan v Pascalu in je deloval na Atarijevih računalnikih. Izračunavali smo direktno in difuzno obsevanje, upoštevali smo oblačnost in osenčenost zaradi reliefnih ovir (Gabrovec 1990). V zadnjih letih pa so zmogljivejši računalniki omogočili izračunavanje na večjih območjih. Tako smo lahko izdelali karto kvaziglobalnega sončnega obsevanja za ozemlje celotne države po hektarskih celicah. Ta karta je služila predvsem ugotavljanju optimalnih leg za kmetijstvo (Gabrovec 1996).

V tem članku želimo prikazati možnosti izkoriščanja sončne energije za potrebe gospodinjstev. V takem primeru je postopek nekoliko drugačen. Ne zanimata nas naklon in ekspozicija pobočij, kajti sončne celice so vedno obrnjene proti jugu. Zanimajo nas predvsem meteorološki parametri in osenčenost zaradi reliefa.

2. Model izračunavanja sončnega obsevanja

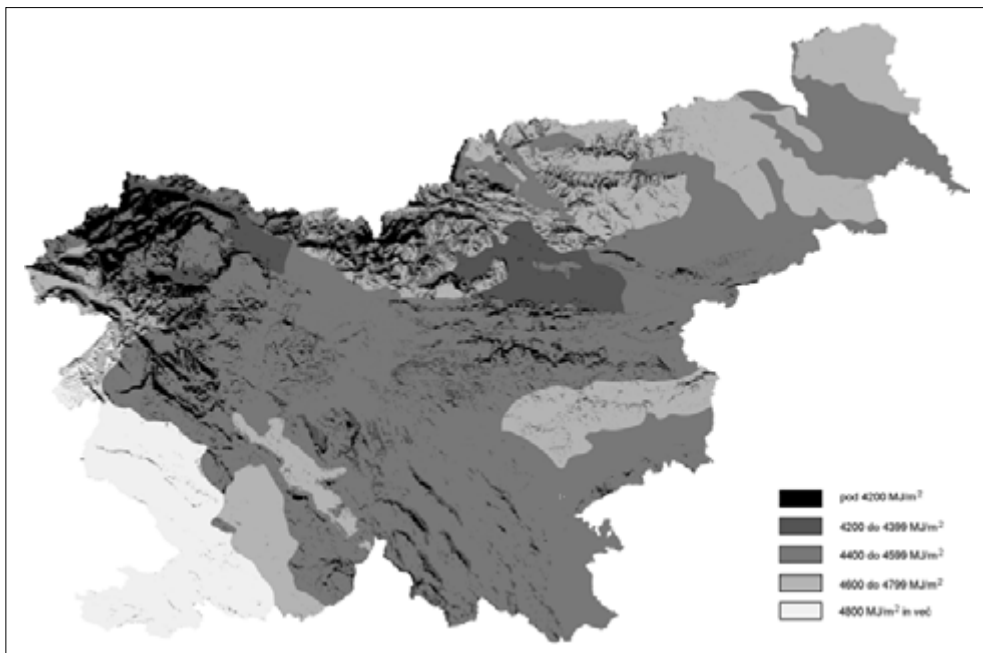
Vse izračune smo delali po dekadah (desetdnevnih obdobjih) in urah. Za srednji dan v vsaki dekadi smo izračunali najprej urne vrednosti energije kvaziglobalnega obsevanja, z njihovim seštevkom smo dobili dnevno vrednost, ki smo jo pomnožili z 10 oziroma s številom dni v dekadi in tako dobili dekadno energijo obsevanja, s seštevkom dekadnih vrednosti pa smo končno dobili letno energijo kvaziglobalnega obsevanja. Vsi ti izračuni so bili narejeni za vsako hektarsko celico, teh pa je v Sloveniji prek dva milijona.

Med meteorološkimi podatki smo za izračun sončne energije potrebovali transmisijske koeficiente glede na absorpcijo in razpršitev ter podatke o trajanju sončnega obsevanja. Transmisijski koeficienti glede na absorpcijo in razpršitev so povzeti po že omenjenem



Slika 1: Povprečna letna energija kvaziglobalnega obsevanja.

modelu Hočevarja in Rakovca. Izračunani so na podlagi obdelave paralelnih nizov opazovanj globalnega obsevanja in trajanja sončnega obsevanja. Avtorji so imeli za izračun na razpolago sinhrona niza obeh parametrov le za Ljubljano, pri določitvi transmisijskih koeficientov za druge kraje Slovenije pa so upoštevali nadmorsko višino in onesnaženost zraka (Hočevar 1980). Podatke o povprečnih dekadnih urnih vrednosti trajanja sončnega obsevanja nam je posredoval Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije. Podatke o trajanju sončnega obsevanja smo dobili za 24 meteoroloških postaj, ki so dokaj enakomerno razporejene po ozemlju celotne države. Podatki so za 30-letno razdobje 1961-1990. Žal polovica postaj ni delovala v celotnem razdobju, vendar nobena ni delovala manj kot 20 let, le tri pa so delovale manj kot 25 let. Žal pa navedeni podatki o trajanju sončnega obsevanja veljajo le za konkretno merilno postajo, te pa so med seboj precej oddaljene. Za naše namene smo potrebovali podatek o trajanju sončnega obsevanja za vsako hektarsko celico v Sloveniji. Tako smo okoli vsake merilne postaje določili območje, ki naj bi čim bolj ustrezalo razmeram na merilni točki. Pri razmejitvi območij posameznih postaj smo se držali dveh temeljnih načel. Prvič se morajo meje območij ujemati z mejami podnebnih tipov v Sloveniji. V tem pogledu smo se naslonili na Ogrinovo tipologijo (Ogrin 1996). Drugič pa mora imeti celotno območje podobno reliefno lego kot meteorološka postaja. Tako mora biti območje kotlinske postaje omejeno z robom kotline, območje višinske postaje mora biti v celoti v višjih legah in podobno. V nekaterih primerih območje meteorološke postaje ni sklenjeno, ker je bilo na primer hribovje razdeljeno na dva dela s širšo dolino ali kotlino, na razpolago pa smo imeli samo eno merilno točko na večji nadmorski višini. Seveda se navedenima kriterijema zaradi preredke merilne mreže ni dalo v celoti ugoditi, menimo pa, da so za večino slovenskega ozemlja podatki o trajanju sončnega



Slika 2: Povprečna letna energija kvaziglobalnega obsevanja na ploskvi, ki je nagnjena 32° proti jugu.

obsevanja dovolj reprezentativni. Jasno pa je, da nismo mogli upoštevati vpliva povečane megle v nekaterih manjših dolinah in kotlinah.

Osenčenost smo prav tako ugotavljali s pomočjo stometrskega digitalnega modela reliefa. Ugotavljali smo jo tako, da smo v smeri potovanja sončnega žarka izračunavali relativno višino celic. To smo merili na premici, ki je pravokotna na sončne žarke. Osenčenost posamezne celice ugotavljamo na podlagi preverjanja, če je katera izmed celic v smeri potovanja žarka že preseгла njeno relativno višino. Če se je to zgodilo, je celica v senci, sicer je osončena (Krevs 1996). V primeru, da je celica osončena, v tisti uri zanjo računamo le difuzni del sončnega obsevanja.

Računalniški program je napisan v Visual Basic-cu, vhodni podatki (naklon, ekspozicija, nadmorska višina, meteorološka postaja) pa morajo biti v IDRISI-jevem rasterskem (IMG) formatu. V istem formatu so tudi vsi izhodni podatki.

3. Možnosti izkoriščanja sončne energije

V Sloveniji je glede na njeno geografsko širino ter razporeditev oblačnosti prek leta najbolj optimalen sprejemnik sončne energije, ki je nagnjen med 30 in 36° proti jugu (azimut 180°). Do razlik v optimalnem naklonu pride zaradi različnih podnebnih značilnosti. V nižinah in kotlinah je značilna zimska megla in zato manj sonca v zimskem času. Relativno več sončne energije tako prinese poletno sonce. Takrat je sonce višje na nebu, naklon celic mora biti zato manjši. Optimalen naklon na teh postajah je zato 30°. Nasprotno je v visokogorju več oblačnosti poleti, ko je pogosta popoldanska kopasta oblačnost, in več sonca pozimi. Zaradi večjega deleža pridobljene energije v zimskem času, ko je višina

| Letna energija | Število | |
|-------------------------------|---------------------------|--|
| | kvaziglobalnega obsevanja | Število gospodinjstev na km ² |
| Pod 4200 MJ/m ² | 5863 | 4 |
| 4200 - 4399 MJ/m ² | 89749 | 37 |
| 4400 - 4599 MJ/m ² | 404103 | 37 |
| 4600 - 4799 MJ/m ² | 76299 | 19 |
| 4800 MJ/m ² in več | 58063 | 36 |

Preglednica 1: Število in gostota gospodinjstev po območjih z različnim sončnim obsevanjem.

| Letna energija | Število | |
|-------------------------------|---------------------------|--|
| | kvaziglobalnega obsevanja | Število gospodinjstev na km ² |
| Pod 4200 MJ/m ² | 3525 | 3 |
| 4200 - 4399 MJ/m ² | 50262 | 21 |
| 4400 - 4599 MJ/m ² | 235966 | 22 |
| 4600 - 4799 MJ/m ² | 61131 | 16 |
| 4800 MJ/m ² in več | 37024 | 23 |

Preglednica 2: Število in gostota gospodinjstev v eno- in dvostanovanjskih hišah po območjih z različnim sončnim obsevanjem.

sonca nizka, mora biti naklon sončnih celic višji. Na Kredarici je zato optimalen naklon 36°. V sredozemski Sloveniji ter v hribovjih in gričevjih celinske Slovenije je optimalen naklon sončnih celic med 32 in 34°. V naših izračunih smo za vsako hektarsko celico v državi količino prejete sončne energije računali za sprejemnik, ki je nagnjen za 32° proti jugu. Končni rezultat računanja je prikazan na sliki 2.

S sončnimi celicami, nagnjenimi za 32° proti jugu, dobimo maksimalno sončno energijo v teku celega leta. Če imamo možnost spreminjanja naklona sončnih celic ali pa na primer želimo dobiti več energije v zimskem času, lahko izračunamo optimalen nagib celic po posameznih razdobjih. Za štirimesečno razdobje od novembra do februarja je optimalen naklon okoli 60°. Ob takem nagibu lahko pridobimo v zimskem času 10 % več energije. Na posameznih legah je lahko zaradi različnega poteka osenčenosti, ki je posledica reliefnih ovir, optimalen nagib in azimut sprejemnika sončne energije nekaj drugačen od zgoraj navedenega. Nekatere alpske doline so v zimskem času celo dopoldne ali celo popoldne v senci. V izbranem 1236 km² velikem testnem območju v zahodnem predalpskem hribovju ima dobra 2 % ozemlja naslednje značilnosti. Popoldne je med pol eno in pol tretjo uro med novembrom in februarjem v senci kar 2000 ur ali več (od 2400 vseh), dopoldne pa so razmere ravno nasprotno, ozemlje je v senci manj kot 400 ur od 2400. Zanimalo nas je, ali je v takih posebnih razmerah smiselno celice obrniti bolj proti jugovzhodu. Ugotovili smo, da je optimalen azimut za navedeno zimsko razdobje v primeru, da imamo direktno obsevanje le med pol deseto dopoldne in pol eno uro popoldne 166°. Vendarle pa je količina prejete sončne energije le dobra 2 % višja od tiste, ki bi jo

dobili v primeru, če bi bile sončne celice obrnjene proti jugu.

4. Potencial sončne energije in poselitev Slovenije

Zanima nas, ali je poselitev Slovenije ugodna z vidika možnosti izkoriščanja sončne energije. Zato smo izračunali gostoto prebivalcev in stavb po območjih z različnim sončnim obsevanjem. To smo naredili s pomočjo baze geokodiranih popisnih podatkov o gospodinjstvih (Vir: Statistični urad Republike Slovenije), ki so v Sloveniji na razpolago za območje celotne države. Tako lahko za poljubno definirano območje izračunamo število stavb, število gospodinjstev in število prebivalcev. Ker je v večstanovanjskih stavbah manj možnosti za postavitev sprejemnikov sončne energije, smo ločeno prikazali gostoto prebivalcev in gospodinjstev v eno- in dvostanovanjskih stavbah. Rezultati so prikazani v spodnjih tabelah.

V analizo bi lahko vključili še številne druge podatke iz popisa prebivalcev in drugih statističnih baz. Za zaključek smo le izračunali povprečno letno energijo kvaziglobalnega obsevanja na ploskvi, ki je nagnjena 32° proti jugu, posebej za celotno Slovenijo in posebej za pozidana območja. Ta znaša 4500 MJ/m^2 oziroma 4543 MJ/m^2 . Pozidana območja so torej na rahlo nadpovprečno osončenih legah. Posebej smo izračunali tudi povprečno letno energijo kvaziglobalnega obsevanja na območjih, kjer stojijo stavbe, zgrajene pred letom 1900. Proti pričakovanju smo dobili povsem enak rezultat kot pri vseh zazidanih območjih. Ob koncu smo še preverili, koliko prebivalcev dejansko izkorišča sončno energijo. Po sicer danes že zastarelih podatkih iz leta 1991 za ogrevanje uporablja sončno energijo le 934 od 634.232 gospodinjstev. Proučili smo njihove lokacije in ugotovili, da je povprečni potencial sončne energije na legah, kjer stojijo hiše s sončnimi sprejemniki 4590 MJ/m^2 , kar je nekaj več od povprečnega potenciala vseh zazidanih območij.

Literatura in viri

- Gabrovec, M. 1990: *Pomen reliefa za geografsko podobo Polhograjskega hribovja*. Geografski zbornik 30, 5-68. Ljubljana.
- Gabrovec, M. 1996: *Sončno obsevanje v reliefno razgibani Sloveniji*. Geografski zbornik 36, 47-68. Ljubljana.
- Hočevar, A., Rakovec, J. 1977: *General Models of Circum-Global and Quasi-Global Radiation on Hills of Simple Geometric Shapes*. Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B, Bd. 25 H 2, 151-176. Wien.
- Hočevar, A. 1980: *Razporeditev potenciala sončne energije v Sloveniji*. Biotehniška fakulteta. Ljubljana.
- Krevs, M. 1996: *Računanje osončenosti in osenčenosti reliefa*. Gradivo za vaje. Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo. Ljubljana.
- Ogrin, D. 1996: *Podnebni tipi v Sloveniji*. Geografski vestnik 68, 39-56. Ljubljana.

DOSTOPNOST PREBIVALSTVA LJUBLJANE DO POSTAJALIŠČ MESTNEGA POTNIŠKEGA PROMETA IN ZELENIH POVRŠIN (PRIMER UPORABE GIS-A V URBANI GEOGRAFIJI)

Marjeta Hočevar, Barbara Lampič, Matjaž Skobir,

Aleš A. Smrekar in dr. Metka Špes

Inštitut za geografijo

Trg francoske revolucije 7, Ljubljana

marjeta.hocevar@uni-lj.si

barbara.lampic@uni-lj.si

matjaz.skobir@uni-lj.si

ales.smrekar@uni-lj.si

metka.spes@uni-lj.si

Izvleček

UDK 911.37:711.553(497.4 Ljubljana)

V članku prikazujemo uporabo GIS-a ob vrednotenju kvalitete bivalnega urbanega okolja na primeru dostopnosti prebivalstva do postajališč mestnega potniškega prometa in zelenih površin. Ključne besede: mesto, Ljubljana, kvaliteta bivanja v urbanem okolju, dostopnost prebivalstva do mestnega potniškega prometa, dostopnost prebivalstva do zelenih površin

Abstract

UDC 911.37:711.553(497.4 Ljubljana)

Accessibility of the public city bus stops and green areas for the inhabitants (using GIS in urban geography)

The article presents the use of GIS when evaluating the quality of dwelling urban environment, considering accessibility of the public city bus stops and green areas for the inhabitants.

Key words: city, Ljubljana, quality of dwelling in urban environment, accessibility of green areas for the inhabitants

1. Uvod

Mesta so območja velikih zgostitev prebivalstva in večine gospodarskih dejavnosti, so žarišča inovativnosti in usmerjevalci razvoja širšega zaledja, so pa tudi središča ekonomskega, socialnega, kulturnega in drugega življenja. Vse te dejavnosti, ki tvorijo in oblikujejo urbana območja, so obenem tudi glavni dejavniki, ki vplivajo na kvaliteto urbanega okolja. V mestnem okolju se izraziteje kaže nenehno križanje, nasprotovanje pa tudi dopolnjevanje interesov raznovrstnih uporabnikov prostora. Agresivnejše dejavnosti (kot npr. industrija, promet), ki so bile glavno gibalno razvoja posameznih mest, pa obenem sprožajo vrsto negativnih prostorskih učinkov, ki se kažejo predvsem v čezmernem onesnaževanju urbanega okolja in njegovi degradaciji, pojavljajo se že tudi negativni vplivi na prebivalce tako v zdravstvenem, vizualnem kot socialnem pogledu.

Negativni učinki čezmernega obremenjevanja okolja oziroma razvoja, ki ni (bil) uravnotežen z naravnimi samočistilnimi ter regeneracijskimi sposobnostmi posameznih sestavin okolja, so ponekod dosegli že stopnjo, da je ogroženo tudi zdravje in počutje ljudi, skratka kvaliteta življenja. Ko govorimo o povratnem vplivu, ko "po človeku spremenjeno" okolje že vpliva na kvaliteto njegovega bivanja, vidimo, da ti negativni pojavi izstopajo v mestnih in industrijskih ekosistemih in da postajajo prav ekološki problemi

vse pomembnejši omejitveni dejavnik razvoja mnogih mest. Strokovnjaki opozarjajo, da je najakutnejši problem domala vseh držav v tem, da se po eni strani stalno povečuje delež urbanega prebivalstva in predvsem njihova gostota, da se dejansko svet postopoma urbanizira in da mestno okolje postaja realnost za večino ljudi, po drugi strani pa se slabšajo možnosti bivanja v mestih.

Ob tem se postavlja še vprašanje, kakšne razlike nastopajo znotraj mesta oziroma ali že obstajajo mestni deli, kjer prihaja do sinergije več negativnih dejavnikov okolja, ali že lahko govorimo o mestnih delih s slabšimi pogoji za bivanje in s koncentracijo nižjih socialnih skupin prebivalstva. Vemo namreč, da pretekli družbeni razvoj ni ravno vzpodbujal tovrstne diferenciacije, niti cena stanovanj ni bila prilagojena kvaliteti bivalnega okolja.

Na Inštitutu za geografijo smo v raziskavi Vpliv fizičnega in družbenega okolja na zdravje prebivalstva v mestu Ljubljana poskusili slediti sodobnim znanstvenoraziskovalnim tokovom. Klasično vsebino tovrstnih okoljskih študij, ki obsegajo poleg fizičnogeografskih kazalcev (zrak, voda) tudi družbene dejavnike, kamor sodijo demografski, socialno-ekonomski in kazalci kvalitete stanovanjskega okolja, smo dopolnili s socialnopatološkimi kazalci (samomori, kazniva dejanja, prometne nesreče) ter kazalci kvalitete bivanja v urbanem okolju. Pri slednjih smo izpostavili problematiko ureditve mirujočega prometa, dostopnost do postajališč mestnega potniškega prometa ter obseg in dostopnost do zelenih površin. Vse omenjene vsebine pomembno vplivajo na kakovost in življenjsko raven bivanja v mestnem okolju.

Pri izdelavi celotne študije smo se oprli na obstoječi GIS ter ga delno tudi dopolnili in nadgradili.

V prvi fazi smo s pomočjo baze podatkov obstoječega GIS-a o starosti stanovanj, gostoti poselitve, demografskih kazalcih ter ob upoštevanju funkcije in morfologije mestnih delov območje današnje mestne občine razdelili na 13 relativno homogenih mestnih delov. V nadaljevanju raziskave smo težili k združevanju vseh raznovrstnih podatkov in ponazarjanju dejavnikov okolja na nivoju teh 13 prostorskih enot:

Enota 1: mestno središče, med železniško progo Ljubljana-Grosuplje, Ljubljana-Kranj in Ljubljana-Postojna, Tivolsko, Aškerčevo in Zoisovo cesto (Center, Tabor, Vodmat, Poljane)

Enota 2: Kodeljevo in objekti ob Hradeckega cesti ter del Most, med železniško progo Ljubljana-Grosuplje in Ljubljanico, vključno s toplarno

Enota 3: Galjevica, Ilovica, Rakovnik in Rudnik (območje med Ižico in Ljubljanico ter grebenom Golovca)

Enota 4: Štepanjsko naselje, Fužine in Nove Fužine, Studenec, Hrušica, Bizovik in Dobrunje

Enota 5: med železniško progo Ljubljana-Zalog ter Motnikom (582 m) ter med dolino Besnice in občinsko mejo na jugu in vzhodu. Obsega naslednje mestne dele: Polje, Spodnji in Zgornji Kašelj, Slape, Vevče, Zadvor, Zavoglje in Sostro.

Enota 6: med železniško progo Ljubljana-Litija (do Zaloga) in reko Savo ter vasi, razpršene po zahodnem Posavskem hribovju (Dolgo Brdo, Tuji Grm, Janče, Gabrje, del Vnajnarij, Podgrad; Mestni deli: Tomačevo, Jarše in Nove Jarše, del Most severno od železniške proge, Obrije, Šmartno, Hrastje, Sneberje, Zadobrova, Novo Polje in Zalog)

Enota 7: območje med Savo in občinsko mejo na severu. Obsega Rašico, Srednje in Spodnje Gameljne, Črnuče, Nadgorico, Podgorico in Šentjakob.

Enota 8: območje med železniškima progama Ljubljana-Litija in Ljubljana-Celje ter reko Savo, oziroma mestne dele: Bežigrad, Savsko naselje, Zelena jama, Stožice, Mala vas, Ježica, Savlje.

Enota 9: obsega severozahodni del mestne občine z mestnimi deli: Koseze, Dravlje, Podutik, Kamna gorica, Glince, Dolince, Pržanj, Podgora, Šentvid, Kleče, Vižmarje, Brod, Tacen, Šmartno pod Šmarno goro ter samostojnimi primestnimi naselji: Zgornje Gameljne, Medno, Stanežiče in Toško čelo.

Enota 10: Spodnjo in Zgornjo Šiško ter industrijsko cono v Šiški

Enota 11: Brdo, Vrhovci, del Viča, Kozarje, Kosovo polje in Lipe na Ljubljanskem barju

Enota 12: Rožna dolina, Trnovo, Prule, Mestni log, Murgle in del Viča

Enota 13: Rakova Jelša, Sibirija, Črna vas na Ljubljanskem barju

V tem prispevku želimo predstaviti nekaj novih možnosti uporabe GIS-a in sicer na primeru dostopnosti prebivalstva do postajališč mestnega potniškega prometa in zelenih površin.

2. Dostopnost prebivalstva do postajališč mestnega potniškega prometa

Prometna ureditev je eden ključnih problemov vsake mestne strukture. Ožje območje Ljubljane urbanistično ni zasnovano na avtomobilu kot množičnem prometnem sredstvu, zato je toliko pomembnejša ureditev mestnega potniškega prometa. Potrebno je zagotoviti kakovosten sistem potniškega prometa (frekvence prevozov, hitrost potovanja, dostopnost, kakovost ponudbe) ter tako spodbuditi širši krog prebivalstva k uporabi javnega prevoza. Po izkušnjah in kriterijih, ki so jih pridobili v tujini, se kot dobro dostopna območja obravnavajo tista, ki so v radiju 500 m od postajališča, kar smo upoštevali pri omenjeni študiji.

Enaindvajset prog mestnega potniškega prometa s skupno dolžino 228,3 km dobro pokrivajo večino Ljubljane. Kljub ustrezni prostorski razširjenosti prog, pa se je v zadnjih desetih letih število potnikov mestnega potniškega prometa zmanjšalo skoraj za tretjino. Podatki kažejo, da so mestni avtobusi še leta 1986 prepeljali prek 150 milijonov potnikov, leta 1996 pa se je to število znižalo na dobrih 110 milijonov. (Prispevek... 1997)

Za podlago smo vzeli podatke po EHIŠ za celotno območje MOL-a. Ker obstoječi GIS še ni vseboval podatkov o postajališčih mestnega potniškega prometa, smo jih digitalizirali. S tem smo jih umestili v prostor in omogočili uporabo posebnih funkcij GIS-a. Ugotoviti smo želeli, kolikšen delež prebivalcev MOL-a ima ustrezen dostop do mestnega potniškega prometa. Kot ustrezen dostop smo vzeli 500 m pas okrog postajališč. Problem smo rešili z uporabo funkcije "BUFFER", ki je v sklopu računalniškega programa MAPINFO. Na plasti s točkami postajališč smo okrog vsakega postajališča ustvarili krog z radijem 500 m. S prekrivanjem plasti EHIŠ in na novo nastalim območjem sestavljenim iz krogov polmera 500 m smo izračunali delež prebivalcev MOL-a, ki ima dober dostop do mestnega potniškega prometa (glej preglednico 1 in sliko 1).

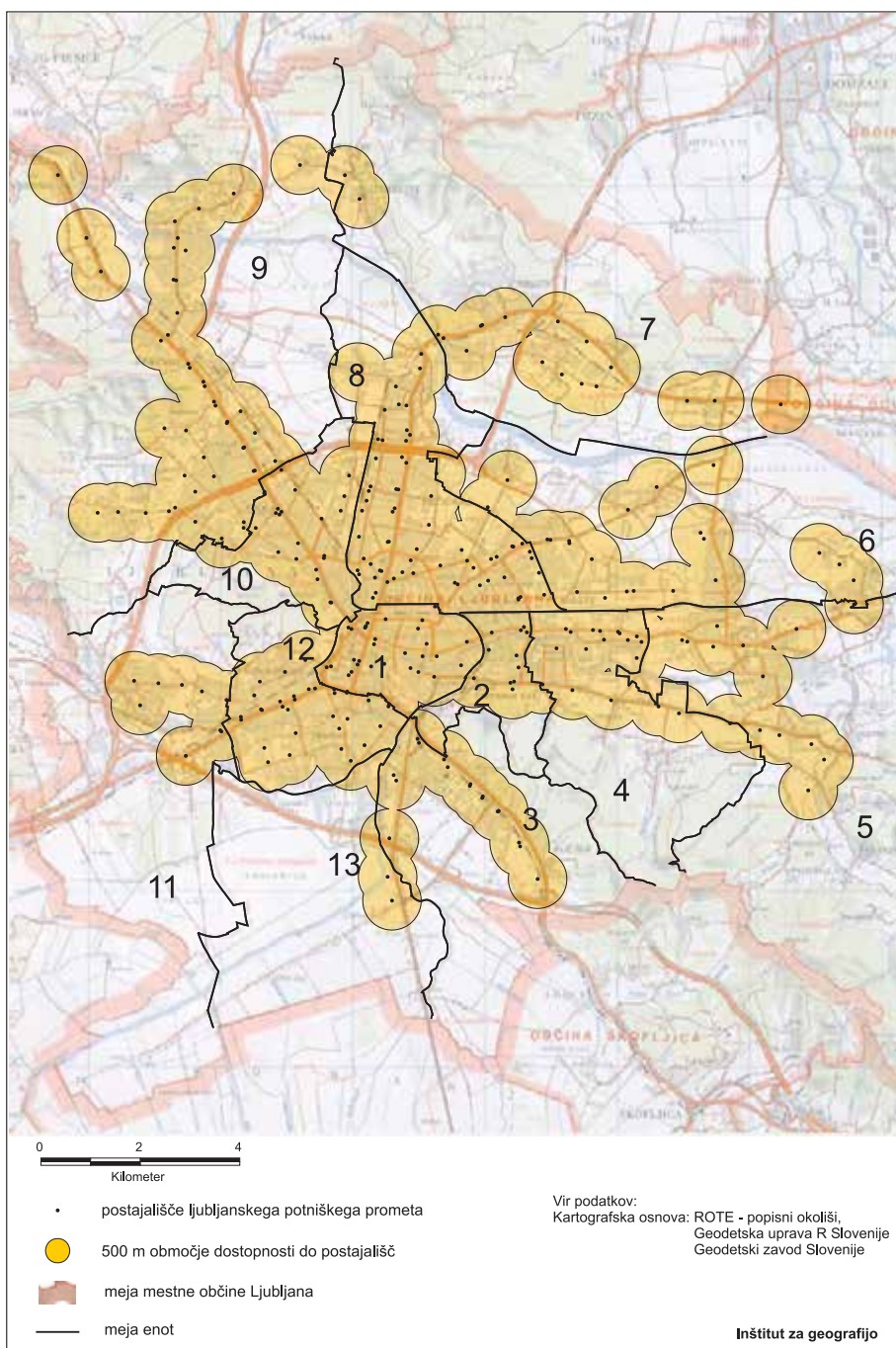
Po podatkih iz leta 1995, ko je imela Mestna občina Ljubljana 269.077 prebivalcev, je imelo kar 242.913 prebivalcev (90 % celotnega prebivalstva MOL-a) zelo dober (krajši od 500 m) dostop do postajališč mestnega potniškega prometa. Po izredno dobri dostopnosti izstopa osem enot in sicer 1, 2, 3, 4, 8, 9, 10 in 12. V teh enotah ima več kot 90 % prebivalcev dostop do postajališč mestnega potniškega prometa krajši od 500 m. Nekoliko slabšo dostopnost imajo prebivalci enot robnega dela Mestne občine Ljubljana. Tako ima

| enota | št. preb. (1995) | št. preb. v 500 m pasu | delež preb. v 500 m pasu (v %) |
|------------|---------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 23910 | 23910 | 100 |
| 2 | 9912 | 9742 | 98 |
| 3 | 8804 | 8026 | 91 |
| 4 | 24634 | 23111 | 94 |
| 5 | 14615 | 10293 | 70 |
| 6 | 18711 | 14995 | 80 |
| 7 | 11817 | 8198 | 69 |
| 8 | 46295 | 46199 | 100 |
| 9 | 42057 | 38005 | 90 |
| —10 | 24048 | 24034 | 100 |
| 11 | 14255 | 10287 | 72 |
| 12 | 25640 | 25019 | 98 |
| 13 | 4379 | 1094 | 25 |
| MOL | 269077 | 242913 | 90 |

Preglednica 1: Dostopnost do postajališč mestnega potniškega prometa (vir: Urad za statistiko R Slovenije, Geodetski zavod Slovenije).

v enotah 5, 6, 7, in 11 dostop do postajališč mestnega prometa krajši od 500 m od 60 do 90 % prebivalcev. V enotah 5 in 6, ki se predstavljata vzhodni del Mestne občine Ljubljana, gre nekoliko nižji delež prebivalstva v radiju 500 m od javnega mestnega prometa predvsem na račun vzhodnega, perifernege dela občine. V enoti 7 ima slabšo dostopnost 31 % prebivalcev in sicer del prebivalstva Podgorice, Črnuč in Spodnjih Gameljn. Nekoliko slabša dostopnost (90 % prebivalstva v radiju do 500 m) do postajališč mestnega prometa v enoti 9 je v naselju Stanežiče, delu Šmartnega in na območju Glinice ter Dolnic. V enoti 11 imajo nekoliko slabšo dostopnost prebivalci Kozarij in Lipe. Izmed vseh enot pa izrazito izstopa enota 13, ki ima sicer najmanj prebivalcev (4.379), vendar jih je le 25 % od postajališč mestnega prometa oddaljenih manj kot 500 m. Prebivalci Črne vasi, dela Rakove Jelše in Sibirije pa imajo zaradi slabše dostopnosti do postajališč mestnega potniškega prometa še poslabšano že tako zelo nizko kakovost bivanja.

Kljub zelo dobri dostopnosti do postajališč mestnega potniškega prometa za večino Ljubljčanov pa je na koncu potrebno izpostaviti še drugo plat. Predvsem gre za dejansko funkcijo javnega prometa v Ljubljani, ki se v zadnjih letih izrazito zmanjšuje. Torej uporaba mestnega potniškega prometa ni odvisna le od njegove dostopnosti ampak tudi od frekvence odhodov s postaj, hitrosti potovanja in kakovosti ponudbe. Kljub dejstvu, da avtobusi rabijo petkrat manj energije na potnika, manj onesnažujejo ozračje, manj obremenjujejo okolje s hrupom (vse iz vidika števila prepeljanih potnikov) in so povrh vsega še varnejši, je njihovo mesto in funkcija v vsakdanjem življenju prebivalcev Ljubljane vse manjša (z izjemo posameznih skupin prebivalcev - upokojenci, študenti, srednješolci).



Slika 1: Dostopnost do postajališč ljubljanskega potniškega prometa.

3. Dostopnost prebivalstva do zelenih površin

Kot kazalec kvalitete bivanja v urbanem okolju smo obravnavali tudi obseg in dostopnost do zelenih površin. Količina, razporeditev in struktura zelenih površin za prebivalce mesta predstavlja eno tistih komponent, ki naredi njihovo bivanje prijetnejše, bolj humano in tudi bolj zdravo.

Zagotavljanje zelenih površin v mestu je povezano z njegovo velikostjo in naravnimi značilnostmi, so pa te površine ena tistih dobrin v mestu, katerih pomen se pogosto odkriva šele ob njihovem izginotju, prej pa jih mnogokrat še opazimo ne. Nesporno pa pomeni količina, razporeditev in struktura zelenih površin za prebivalce mesta eno tistih komponent, ki naredi njihovo bivanje prijetnejše, bolj humano in tudi bolj zdravo. Javne zelene površine imajo funkcijo specifične rabe, predstavljajo vidno obogatitev mestne podobe in nenazadnje je treba izpostaviti tudi njihovo funkcijo iz vidika kvalitete bivanja in kakovosti okolja.

Ljubljana je relativno zeleno mesto v primerjavi z drugimi mesti v tem delu Evrope. Količina zelenja se ni nikoli izpostavljala kot problem niti kot njegova posebna kvaliteta.

Obsežne zelene površine v Ljubljani pa niso nastale na osnovi nekih kompleksno izdelanih načrtov, temveč so predvsem posledica naravnih danosti in prizadevanj nekaterih posameznikov. Celotno mesto je obdano z zelenim pasom, ponekod se zelenje zajeda celo v samo mestno središče. Na jugu Ljubljano omejuje Ljubljansko barje, na jugovzhodu se vanjo zajeda zeleni klin Golovca z Ljubljanskim gradom, iz zahoda pa se v mestno jedro vključuje Tivoli s svojim zaledjem, Rožnikom. Na severu so urbano širitev mesta omejile kmetijske površine, ki so se tu obdržale predvsem zaradi ljubljanskih vodnih zajetij (Špes et al. 1995). V Ljubljani je veliko bolj kot količina problematična struktura zelenja, zato so upravičena prizadevanja krajskih arhitektov, da bi začeli obravnavati zelene površine kot načrtovalsko kategorijo, ki zagotavlja usklajen razvoj mestnih struktur.

V zvezi z zelenimi površinami v Ljubljani je bilo narejenih zelo malo študij, ki bi se tega mestnega elementa lotile s strokovne plati (izjema je študija Zeleni sistem, (Ogrin et al. 1994)). Tudi Mestna geodetska uprava, ki je po zakonu dolžna izdelati karto in dimenzije vseh zelenih površin v Ljubljani svojega dela ni opravila (prioritetni so bili drugi elementi). Dodaten problem pa predstavlja tudi dejstvo, da pri nas nimamo opravljene niti tipizacije obstoječih zelenih površin.

Kljub temu da so podatki nekoliko zastareli, jasno kažejo, da količina zelenih površin v mestu ni problematična, saj pride na prebivalca prek 25 m². So pa navedeni podatki bolj orientacijski, saj gre le za površine, ki jih je urejalo Komunalno podjetje (izvzeti so npr. zasebni vrtovi), ne pa za vse zelene površine. Tako pride dejansko na prebivalca več zelenih površin in ne le 27 m².

Poleg navedenih površin so se drevoredi v mestu raztezali v dolžini 98,7 km (skupaj 19.000 dreves), vseh zasajenih dreves v mestu pa je po podatkih iz leta 1994 67.400. V zadnjih 25-ih letih je najbolj narasel delež zelenic in dreves v stanovanjskih naseljih, saj je šlo v tem obdobju za hitro rast novih mestnih sosesk. Ta rast je bila najintenzivnejša v letih od 1970 do 1990, v zadnjih petih letih pa se je umirila. Treba pa je poudariti, da je prihajalo pri urejanju zelenih površin v mestu do velikih razlik. Ljubljana in njeno zaledje je bilo razdeljeno na pet občin in vsaka od njih je vodila precej samosvojo politiko, tudi kar se tiče zelenih površin. To se danes odraža tudi v zunanji podobi mesta, saj so nekateri predeli in nove soseske precej zelene (Bežigrad, Šiška), ponekod pa je tega zelenja premalo (Vič).

| | |
|--|-------------------------|
| parki | 47,6 ha |
| zelenice v stanovanjskih naseljih | 139,9 ha |
| zelenice ob cestah in vodotokih | 61,9 ha |
| Pot | 43,1 ha (dolžina 35 km) |
| parkovno urejeni gozdovi | 229,6 ha |
| zelene površine v upravljanju šol, vrtcev, športnih društev, tovarn,... | 196,0 ha |
| skupaj | 718,1 ha |

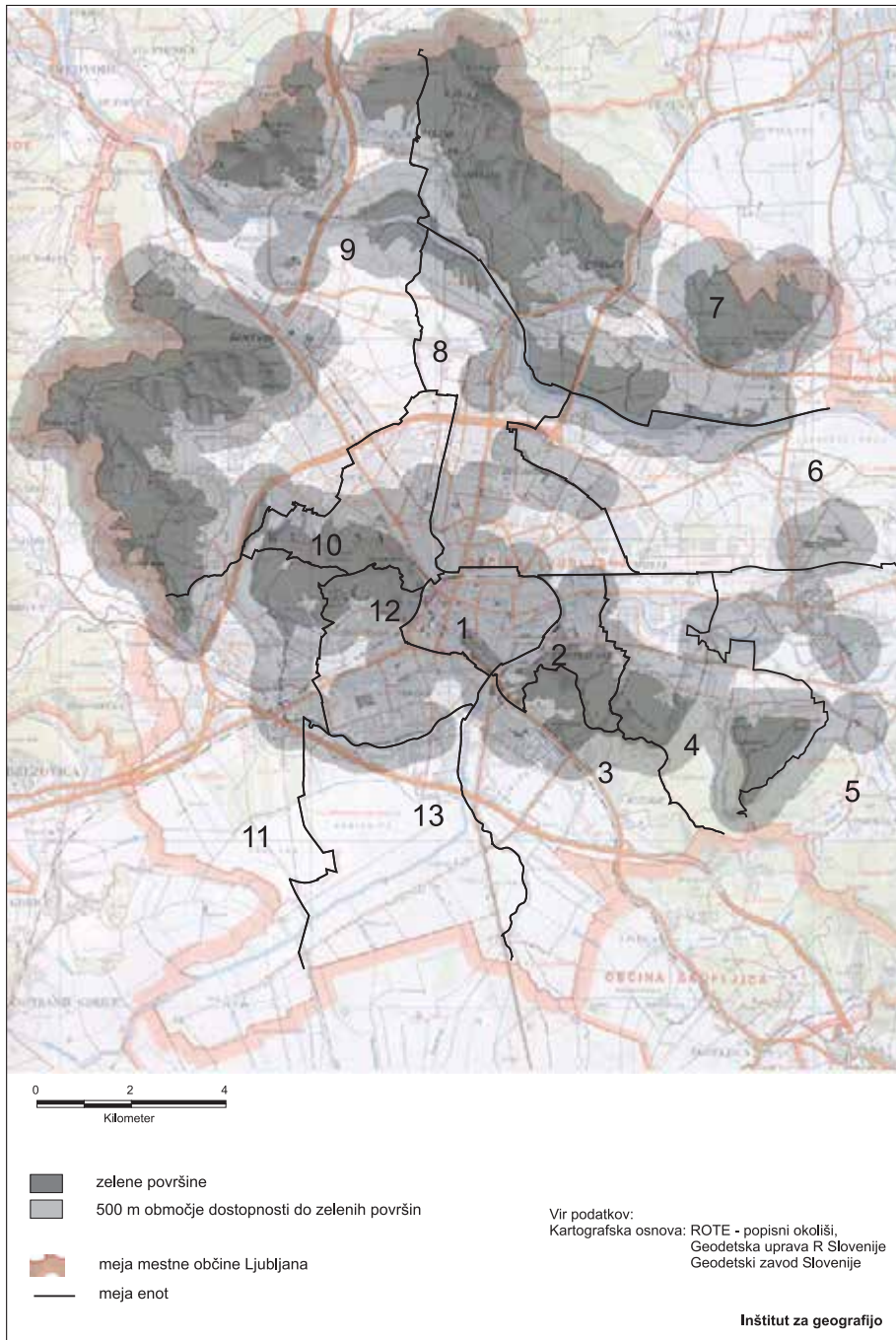
Preglednica 2: Zelene površine v Ljubljani leta 1988 (vir: Komunalno podjetje Ljubljana, enota Rast, 1995).

| Enota | št. preb. (1995) | št. preb. | delež preb. |
|-------|------------------|--------------|--------------------|
| | | v 500 m pasu | v 500 m pasu (v %) |
| 1 | 23910 | 23910 | 100 |
| 2 | 9912 | 9771 | 99 |
| 3 | 8804 | 6047 | 69 |
| 4 | 24634 | 10813 | 44 |
| 5 | 14615 | 6560 | 45 |
| 6 | 18711 | 6675 | 36 |
| 7 | 11817 | 11371 | 96 |
| 8 | 46295 | 33840 | 73 |
| 9 | 42057 | 20712 | 49 |
| 10 | 24048 | 16274 | 68 |
| 11 | 14255 | 7883 | 55 |
| 12 | 25640 | 20525 | 80 |
| 13 | 4379 | 1619 | 37 |
| MOL | 269077 | 176000 | 65 |

Preglednica 3: Dostopnost prebivalstva do zelenih površin (vir: Urad za statistiko R Slovenije, Geodetski zavod Slovenije).

Za razliko od postajališč MPP, ki so predstavljali točke - centroide, zelene površine predstavljajo območja - poligone. Okrog vsake zelene površine (poligona) smo s pomočjo funkcije "buffer" ustvarili 500 m pas in dobili nov poligon po obliki enak zeleni površini. Na podlagi podatkov o hišah in številu prebivalcev smo prešteli vse ljudi, ki živijo v 500 m pasu zelenih površin.

Na karti dostopnosti do zelenih površin (slika 2) smo v grobem skušali prikazati, koliko prebivalcev Ljubljane (in prebivalcev posameznih enot mesta) živi v pasu 500 m od zelenih površin. Upoštevali smo tiste vrste zelenja, ki so ljudem javno dostopne, od parkov in urejenih zelenic v mestnem središču, do travnikov in gozdov na tistih območjih Mestne občine Ljubljana, kjer je njihova primarna funkcija predvsem rekreacijska in san-



Slika 2: Dostopnost do zelenih površin.

itarna, ne pa ekonomska. Tako je ves, sicer precej gozdnat, vzhodni del občine (enoti 5 in 6) po deležu prebivalstva, ki so od zelenih površin oddaljeni manj kot 500 m, precej pod ljubljanskim povprečjem, ki znaša 65 %. Podobne so razmere tudi v enoti 13, ki obsega velik delež kmetijskih površin na barjanskih tleh, katerih rekreacijska funkcija je sicer sekundarna, primarna pa je še vedno ekonomska.

Po nekoliko slabši dostopnosti izstopata še enoti 4 in 9, pri enoti 4 gre na eni strani za dve veliki stanovanjski soseski, Štepanjsko naselje in Nove Fužine, pri enoti 9 pa Dravljje, znotraj katerih sicer so urejene zelenice, vendar jih zaradi majhnega obsega nismo upoštevali. Zeleno zaledje pa je toliko oddaljeno od teh sosesk, da prebivalci ne padejo več v pas dobre dostopnosti.

Po odlični dostopnosti pa izstopajo enote 1, 2 in 7, to je mestno središče, Kodeljevo in Črnuče. Slednji dve enoti imata zelo močno "rekreacijsko" zaledje, Golovec in Rašico, medtem ko ima mestno središče dobro parkovno ureditev, predvsem pa ima v zaledju Tivoli z Rožnikom.

4. Sklep

Ljubljana kot večje mesto je območje koncentracije prebivalstva in različnih številnih dejavnosti. Območje Mestne občine Ljubljana je razdeljeno na 13 homogenih enot, za katere smo ugotavljali kvaliteto življenjskega okolja na podlagi različnih kazalcev. Med kazalci sta tudi dostopnost prebivalstva do postajališč mestnega potniškega prometa in do zelenih površin. V 500 m pasu do postajališč živijo vsi prebivalci v enotah 1, 8 in 10, najmanjši delež pa živi v enoti 13 z zgolj 25 %. Do zelenih površin imajo manj kot 500 m le vsi prebivalci enote 1, medtem ko jih ima najmanj (36 %) iz enote 6.

Že na preprostem primeru lahko ugotovimo, kako koristna in učinkovita je uporaba GIS funkcij in GIS-ov sploh. Moč GIS-ov je v povezovanju podatkov iz različnih podatkovnih zbirk, analizi podatkov ter grafični ponazoritvi rezultatov v obliki tematskih kart. Omogočajo nam obdelavo in analizo velikih količin podatkov v realnem času, prepletanje tako atributnih podatkov kot je Popis prebivalstva, kot tudi geokodiranih podatkovnih zbirk kot so katastrske občine, centroidi naselij in hiš itd. Vsaka sprememba podatkov v atributnem delu podatkovne zbirke se takoj odrazi tudi v prostorskem in obratno. Dobro zasnovane podatkovne zbirke, ki so med seboj smiselno povezane v geografskem informacijskem sistemu, so lahko ključ do dobrih in zanimivih raziskav ter spremljanje prostorskih pojavov v različnih časovnih obdobjih.

Literatura in viri

Carter, H. 1995: The Study of Urban Geography. London.

Gulič, A. et al. 1994: Kvaliteta življenja in kvaliteta bivalnega okolja Ljubljane, delovno poročilo 1. faze projekta. UI. Ljubljana.

Haughton, G., Hunter C. 1994: Sustainable Cities. London.

Knox, P. 1987: Urban Social Geography, an introduction. London.

Mihelič, B. 1983: Urabnistični razvoj Ljubljane. Ljubljana.

Nijkamp, P., Perrels, A. 1994: Sustainable Cities in Europe, A Comparative Analysis of Urban Energy - Environmental Policies. London.

Odlok o zelenih površinah na območju ljubljanskih občin, 1983: Uradni list SRS 6/83. Ljubljana.

- Ogrin, D. et al. 1994: *Zeleni sistem Ljubljane, zasnova*. Biotehniška fakulteta - Inštitut za krajinsko arhitekturo. Ljubljana.
- Prispevek k pripravi lokalne Agende 21 mesta Ljubljane in doseganju ciljev Heidelberške deklaracije županov, 1997. *Holding mesta Ljubljane*. Ljubljana.
- Raziskava potovalnih zakonitosti v Ljubljani, 1994. *SCT Projekt nizke zgradbe*. Ljubljana.
- Špes, M. 1994: *Degradacija okolja kot dejavnik diferenciacije urbane pokrajine (na izbranih primerih)*. Doktorska disertacija. Ljubljana.
- Špes, M., Lampič, B., Smrekar, A. 1995: *Kulturni in ekonomski pogoji pri oblikovanju odločitev za uravnotežen razvoj mest – Ljubljana*. IG. Ljubljana.
- Urbanistični kriteriji, normativi in standardi za prostorsko planiranje in urbanistično načrtovanje v Republiki Sloveniji, 1995*. Urbanistični inštitut, raziskovalno - razvojni projekt, *Zelene površine v mestu*, zvezek 5. Ljubljana.
- Urbanistični kriteriji, normativi in standardi za prostorsko planiranje in urbanistično načrtovanje v Republiki Sloveniji, 1995*. Urbanistični inštitut, raziskovalno - razvojni projekt, *Gospodarska infrastruktura - promet*, zvezek 3/1.3.1. Ljubljana.
- Vplivi fizičnega in družbenega okolja na zdravje prebivalstva v mestu Ljubljana, 1997*. Inštitut za geografijo s podizvajalci. Ljubljana.

GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SISTEMI V RAZISKOVANJU ŽIVLJENJSKE RAVNI

mag. Marko Krevs
Oddelek za geografijo
Filozofska fakulteta
Univerza v Ljubljani
Aškerčeva 2, Ljubljana
marko.krevs@ff.uni-lj.si

Izvleček

UDK 659.2:91:316.34

V celovite raziskave življenjske ravni, ki se ne omejujejo le na ekonomske ali družbene kazalce v ožjem smislu, vnaša geografski pristop in z njim uporaba geografskih informacijskih sistemov več pomembnih kakovostnih sprememb. Nanašajo se predvsem na ustrežnejše razumevanje in merjenje dostopnosti lokacij, na katerih ljudje zadovoljujejo svoje življenjske potrebe, ustrežnejše merjenje nekaterih koeficientov prostorskih gostot, upoštevanje značilnosti naravnega oziroma "fizičnega" okolja kot vsebine življenjske ravni ter interaktivno vizualno prostorsko analizo številnih vidikov življenjske ravni hkrati na podlagi kart, prikazanih s pomočjo geografskega informacijskega sistema. Predstavljamo navedene spremembe v raziskovanju življenjske ravni in jih na kratko ocenjujemo na podlagi izkušenj iz raziskave lokalne življenjske ravni v Sloveniji.

Ključne besede: geografski informacijski sistemi, življenjska raven, prostorski vidiki življenjske ravni.

Abstract

UDC 659.2:91:316.34

Geographical information systems in the research of level of living
Geographical approach together with the use of geographic information systems introduces several important qualitative changes into integral level of living research, which is not limited only to economic or social indicators. These changes are above all related to more suitable understanding and measuring of spatial accessibility, more suitable measuring of diverse coefficients of spatial density, introduction of natural or "physical" environment characteristics into level of living research, and simultaneous interactive visual spatial analysis of several aspects of level of living on the basis of maps, presented using a geographical information system. These changes in level of living research are presented and briefly evaluated on the basis of our experiences from the research of local level of living in Slovenia.

Key words: geographical information systems, level of living, spatial aspects of level of living.

1. Uvod

Življenjska raven predstavlja življenjske razmere ljudi na določenem območju v določenem časovnem obdobju. Nikakor je ne moremo v celoti izmeriti, temveč jo lahko le bolj ali manj podrobno ocenimo. Kljub tej pomanjkljivosti je tematika izredno zanimiva za široko javnost, pa tudi za raziskovanje, prostorsko (regionalno) in družbeno načrtovanje ter politiko. Poleg sociologov in ekonomistov, ki jo morda najpogosteje obravnavajo, se z življenjsko ravno raziskovalno ukvarjajo tudi geografi. Slednji dajejo poudarek predvsem ustrežnejšemu upoštevanju prostorskih dejavnikov in vsebin življenjske ravni, ter proučevanju prostorskih razlik v življenjski ravni in njene prostorske razmestitve.

Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1997-1998, str. 151-158, Ljubljana 1998

Za razliko od sociologov, katerih proučevanje življenjske ravni največkrat temelji na podatkih zbranih z anketiranjem vzorca prebivalstva določene države ali manjšega območja, in ekonomistov, ki najpogosteje primerjajo življenjsko raven med državami, jo geografi največkrat proučujejo po manjših območjih (o problematiki izbire območij glej Krevs 1997). Takšen pristop je povezan z veliko količino podatkov iz različnih virov, ki se nanašajo na različne prostorske enote, na primer na upravna ali statistična območja, naravnogeografske regije, celice enake velikosti, ki prekrivajo celotno proučevano ozemlje, lokacije oziroma območja dejanskega pojavljanja določenih pojavov. Zato so imeli geografi pred uveljavljanjem geografskih informacijskih sistemov nemalo težav pri praktični izvedbi raziskav, ki so jih prebrodili z obsežnim zajemanjem, preurejanjem in analizo podatkov, ali pa so jih obšli z omejevanjem na podatke, ki so bili dostopni po takšnih prostorskih enotah, kot večina ekonomskih in družbenih kazalcev.

Uveljavljanje geografskih informacijskih sistemov ni olajšalo le tovrstnih "tehničnih" težav, temveč je omogočilo tudi vsebinsko ustrežnejše proučevanje življenjske ravni. Glavne spremembe, ki jih v proučevanje življenjske ravni vnaša geografski pristop in z njim uporaba geografskih informacijskih sistemov, se nanašajo predvsem na:

- ustrežnejše razumevanje in merjenje dostopnosti številnih dejavnosti in lokacij, na katerih ljudje zadovoljujejo svoje življenjske potrebe,
- ustrežnejše merjenje nekaterih koeficientov prostorskih gostot, ki se nanašajo na določeni del površin (na primer na poseljene površine),
- upoštevanje značilnosti naravnega oziroma "fizičnega" okolja kot vsebine življenjske ravni ter
- interaktivno vizualno analizo številnih vidikov življenjske ravni hkrati na podlagi kart (lahko multimedijsko obogatenih), prikazanih s pomočjo geografskega informacijskega sistema.

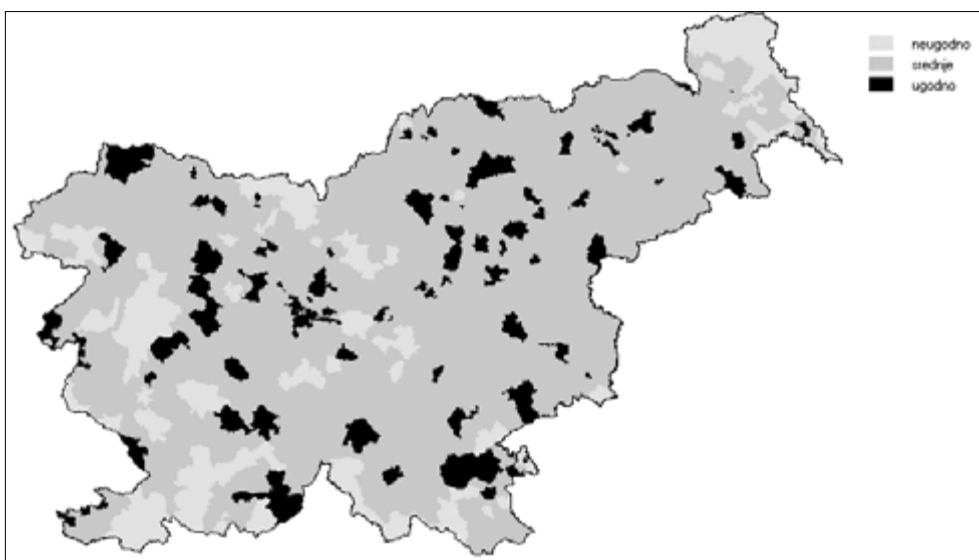
Geografski informacijski sistem torej v raziskovanju življenjske ravni igra pomembno vlogo pri zajemu podatkov, pri njihovi ustrezni predstavitvi in razumevanju ter pri sporočanju spoznanj v kartografski ali z njo kombinirani multimedijski obliki. Večji del kvantitativnih analiz opravimo izven geografskega informacijskega sistema, s statističnimi orodji, ki so v rabi v družboslovnem raziskovanju.

Predstavljenе ugotovitve so nastale v sklopu triletnе raziskave "Geografski vidiki življenjske ravni prebivalstva v Sloveniji" (Krevs 1998).

2. Prostorska dostopnost

Avtorji nekaterih skrajno poenostavljenih in enostranskih raziskav življenjske ravni domnevajo, da količina denarnih virov neposredno, še bolj pa posredno predstavlja celotno življenjsko raven ljudi. V tovrstnih raziskavah območje bivanja, razmere v življenjskem okolju ali omenjena prostorska dostopnost niso izrecno obravnavani.

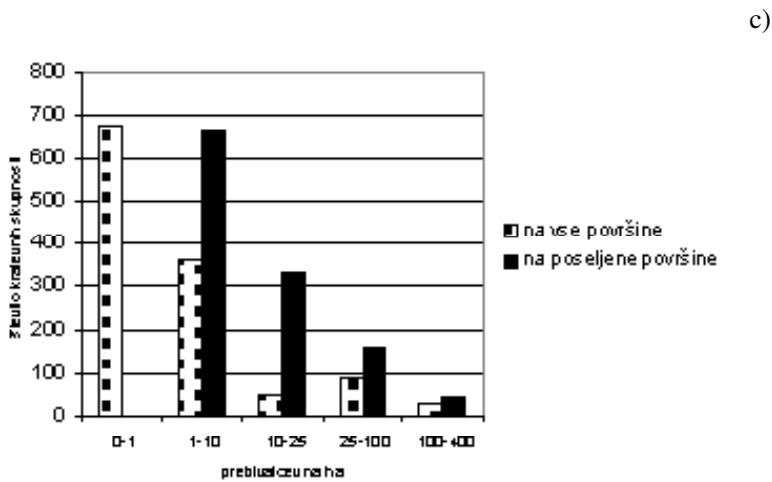
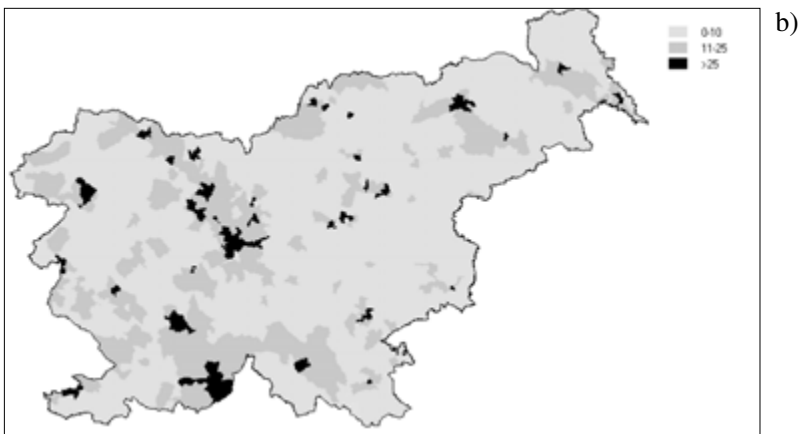
Z večanjem števila in raznolikosti obravnavanih vsebin življenjske ravni so bile v raziskave vključene tudi vsebine, na primer v zvezi z oskrbo, izobraževanjem, zaposlitvijo, zdravstvenimi in drugimi storitvami, rekreacijo, ki na življenjsko raven bolj ali manj močno vplivajo tudi z vidika prostorske dostopnosti. Vendar slednja tudi v tovrstnih raziskavah ni bila izrecno upoštevana, morda predvsem zaradi težav pri izdelavi realističnih ocen prostorske dostopnosti. Dostopnost je bila še največkrat predstavljena z



Slika 1: Storitvene razmere so prikazane na podlagi štirih kazalcev o prostorski dostopnosti storitvenih dejavnosti ter dveh kazalcev o prisotnosti storitvenih dejavnosti v krajevni skupnosti.

vidika razmerja med številom prebivalcev in na primer razvitostjo določenih dejavnosti ali številom določenih lokacij (na primer s številom zdravnikov, učiteljev, prodajaln, teniških igrišč, površin parkov na tisoč prebivalcev). S pomočjo podatkov o dnevni migracijah je nekoliko ustrežnejše, čeprav še vedno posredno, brez upoštevanja dejanskih razdalj, predstavljena prostorska dostopnost delovnih mest in šol.

Tovrstni “neprostorski” pristop k predstavljanju dostopnosti, uporabljen v raziskavah različnega prostorskega merila, je izšel iz primerjav med državami. Z večanjem prostorskega merila (in manjšanjem velikosti obravnavanih območij) postaja vse bolj vprašljiv, v raziskavah lokalne življenjske ravni celo napačen. Večja območja, na primer države, so razmeroma dober približek “življenjskih območij” tamkajšnjih prebivalcev. Večina jih le majhen del svojih splošnih življenjskih potreb zadovoljuje zunaj tega območja. Zato navedeni koeficienti razmeroma dobro opišejo “povprečne življenjske razmere”. Na majhnih območjih, po katerih običajno agregiramo prebivalstvo glede na lokacijo stalnega bivališča, pa to prebivalstvo zadovoljuje le del, morda celo le majhen del splošnih življenjskih potreb (tj. življenjskih potreb, ki so v danih razmerah značilne za večino ljudi). Zato je potrebno za oceno življenjskih razmer na določenem območju obenem upoštevati tudi razmere na drugih, zlasti bližnjih območjih. To je povezano s pojmom prostorske dostopnosti določenih dejavnosti oziroma lokacij v prostoru, na katerih ljudje zadovoljujejo svoje splošne življenjske potrebe. Z geografskim informacijskim sistemom lahko to dostopnost razmeroma dobro ocenimo. Primer vsebine življenjske ravni, ki pretežno temelji na kazalcih dostopnosti, je prikazan na sliki 1. Ocene dostopnosti (oddaljenosti) so boljše, če upoštevamo bolj natančne opredelitve lokacij stanovanj, delovnih mest, dejavnosti in drugih “vrst” lokacij in če ustrežnejše upoštevamo način in hitrost potovanja med temi lokacijami. Primer manj natančnih ocen pa so linearne razdalje med



Slika 2: Gostota prebivalstva je precej različna, če jo izračunamo glede na celotno površino (a) ali glede na poseljene površine krajevnih skupnosti (b), kar je očitno tudi na grafikonu (c).

centroidi obravnavanih območij. V praksi še vedno prevladujejo manj natančne metode ocenjevanja oddaljenosti, za katere potrebujemo bistveno manj podatkov.

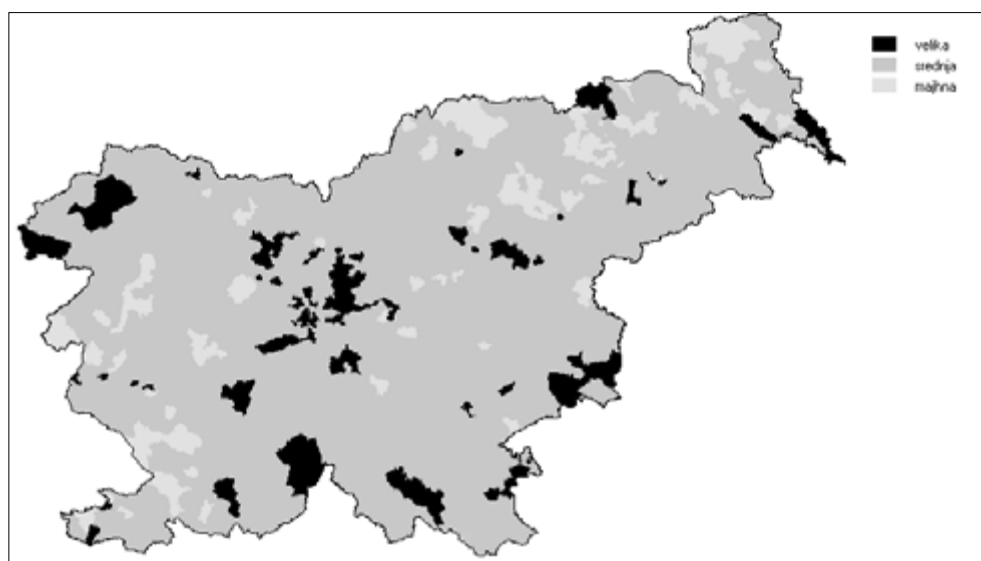
3. Prostorske gostote

Življenjske razmere ljudi lahko prikažemo tudi s pomočjo različnih koeficientov gostot. V družbeni geografiji je na primer med najpogostejšimi tovrstnimi kazalci gostota prebivalstva. Običajno jo izračunamo s pomočjo razmerja med številom prebivalcev in površino celotnega obravnavanega območja (na primer države, občine, krajevne skupnosti). Problem takšnega računanja gostote prebivalstva je, da v računu upoštevamo tudi neposeljena območja. To informacijo sicer lahko uporabimo za opis poselitvenih razmer, ne dobimo pa ustrezne predstave o zgostitvah na območjih, kjer ljudje dejansko živijo. Geografski informacijski sistem nam je lahko v pomoč pri izboljšanju tovrstnih kazalcev. V našem primeru smo uporabili "približek" poseljenih površin, ki se je v merilu naše raziskave izkazal kot povsem ustrezen. Poseljene površine predstavljajo hektarska območja (100 x 100 m velike "celice" v rasterskih podatkih), na katerih je vsaj ena hiša, v kateri ima stalno bivališče vsaj en prebivalec. Rastersko sliko poseljenih površin smo izdelali na podlagi podatkov o številu prebivalcev po centroidih hišnih števil (Integrated..., 1995). Razlike v gostoti prebivalcev po krajevnih skupnostih v Sloveniji leta 1993, izračunani glede na poseljena območja in na "običajni" način, prikazujeta karti na sliki 2.

Poleg gostot se na poseljene površine v raziskavah življenjske ravni nanašajo tudi nekateri drugi kazalci, s katerimi želimo predstaviti posamezne vidike življenjskih razmer na območjih bivanja. Tovrstni kazalci so na primer višinska razlika med najvišje in najnižje ležečim poseljenim območjem ter deleži poseljenih območij (ali število prebivalcev), ki jih ogožajo poplave, potresi, ali so na območju pogostega temperaturnega obrata.

4. Naravno oziroma "fizično" okolje

Pojem "fizično" okolje običajno uporabljamo v zadregi, ker težko razmejimo neokrnjeno naravno okolje od antropogenega okolja. "Fizično" okolje zajema materialno naravno in antropogeno okolje. V raziskavah življenjske ravni je bilo doslej upoštevano na različne načine, na primer v kazalcih o stanovanjskih razmerah, reliefu, klimatskih razmerah, pa tudi v kazalcih o onesnaženosti okolja ali naravni ogroženosti poseljenih območij (slika 3). Težave pri upoštevanju nekaterih tovrstnih vidikov življenjske ravni so posebno izrazite v raziskavah po majhnih območjih (na lokalni ravni). Glavna težava je običajno pomanjkanje dovolj podrobnih podatkov, ali njihovo zbiranje po prostorskih enotah, ki so različne od tistih, za katere imamo družbene in ekonomske podatke. Geografski informacijski sistemi sicer neposredno ne odpravijo težave, pač pa nam jo včasih omogočajo premostiti z uporabo metod prostorske interpolacije in metodami za preurejanje in analizo podatkov po območjih. Pred uveljavitvijo geografskih informacijskih sistemov večine omenjenih kazalcev "fizičnega" okolja nismo mogli upoštevati v raziskavah življenjske ravni. Zato podobno, kot v primeru upoštevanja dostopnosti, tudi z upoštevanjem kazalcev o okolju ne le širimo ali tehnično izboljšujemo raziskave življenjske ravni, temveč jih vsebinsko bogatimo.



Slika 3: Naravna ogroženost poseljenih površin je pomemben vidik življenjske ravni prebivalstva.

5. Interaktivna vizualna analiza kart

Statistična orodja, s katerimi v raziskovanju življenjske ravni opravimo večji del kvantitativnih analiz, ne upoštevajo prostorske razsežnosti oziroma lokacije in razmestitve zbranih podatkov. V geografskih raziskavah slednjemu namenjamo osrednjo pozornost, zato je nujno, da statistične analize kombiniramo z analizo kart.

Čeprav kartografski prikazi niso najmočnejše orožje geografskega informacijskega sistema, so za geografske raziskave življenjske ravni izredno pomembni. Ni pomembna le njihova informativna vloga za tiste, ki se seznanjajo z rezultati raziskav. Z vidika kakovosti raziskav je pomembno njihovo omogočanje postopnega seznanjanja raziskovalcev s prostorskimi vidiki kompleksne problematike, ki jo proučujejo.

Analiza kart v tovrstnih raziskavah ima dve obliki. Prva je usmerjena k razkrivanju značilnosti razmestitve (t.i. prostorskih vzorcev) posameznih vsebin življenjske ravni, območnih tipov življenjske ravni ali ocene skupne življenjske ravni. Temelji na različnih načinih prikazov podatkov, na primer z različnimi metodami določitve razredov (klasifikacij) ali z uporabo različnih kartografskih "grafičnih spremenljivk" (glej na primer MacEachren 1994). Druga oblika analiz kart teži k razkrivanju medsebojnih prostorskih povezav, prostorskih sovpadanj in deloma tudi prostorskih trendov različnih vsebin življenjske ravni. Temelji na primerjavah večjega števila kart. To ni preprosta naloga, ki bi jo opravili na podlagi bežnega pregleda kart (v naši raziskavi smo na primer upoštevali 110 temeljnih kazalcev življenjske ravni, ki smo jih nato še vsebinsko združevali v splošnejše kazalce, na njihovi podlagi izdelali klasifikacije in podobno). Potrebno je dobro poznavanje proučevane tematike, zmožnost hkratnega branja več kart in povezovanja tako pridobljenih informacij ter potrpežljivo proučevanje podrobnosti in glavnih

potez prostorskih vzorcev na kartah. Po naših izkušnjah je najučinkovitejše hkratno proučevanje karte tipov življenjske ravni (dobljene s pomočjo metode statističnega razvrščanja v skupine), karte skupnega indeksa življenjske ravni (dobljene z eno izmed metod računanja skupnega indeksa) in kart posameznih kazalcev oziroma vsebin življenjske ravni (za podrobnejše razlage postopkov in pojmov glej Krevs 1996; Krevs 1998).

Izkušnje so pokazale, da je geografski informacijski sistem uporaben predvsem v prvi skupini interaktivnih analiz kart. V drugi skupini analiz pa ga uporabimo le za izdelavo (in tisk) številnih analitičnih kart, ki jih nato proučimo na "klasičen način".

6. Vloga geografskih informacijskih sistemov v raziskavah življenjske ravni v bodoče

Geografski informacijski sistemi bodo v bodočih raziskavah življenjske ravni igrali še pomembnejšo vlogo. Med razlogi, za katere menimo, da so najbolj pomembni, uvrščamo naslednje:

- omogočili bodo upoštevanje sprememb meja območij, ki jih proučujemo (na primer občin, regij),
- krajevne skupnosti, ki so veljale za zelo primerne prostorske enote za proučevanje družbenogeografskih pojavov na lokalni ravni, bo potrebno nadomestiti z drugimi, verjetno še manjšimi območji (na primer popisnimi okoliši), saj krajevne skupnosti po zakonu niso več obvezne; podatkov bo torej še več,
- vse več je kakovostnih zbirk prostorskih digitalnih podatkov, ki jih je mogoče smotno uporabiti v raziskavah življenjske ravni,
- vse več geografov, prostorskih in regionalnih planerjev, urbanistov in raziskovalcev iz drugih strok se zaveda in zna izkoristiti možnosti, ki jih ponujajo geografski informacijski sistemi.

Predvidimo lahko, da bo uporaba geografskih informacijskih sistemov prodrla tudi v sociološke in ekonomske raziskave življenjske ravni. K temu raziskovalce posredno spodbujajo tudi Združeni narodi (Handbook... 1989), ki v priporočeni metodologiji opredeljevanja in zbiranja družbenih (socialnih) kazalcev, katere večinoma uporabimo tudi v raziskavah življenjske ravni, predvidevajo tudi okoljske kazalce. Razveseljivo je, da namerava priporočilom Združenih narodov slediti tudi slovenski Statistični urad (Ružič 1995).

V prispevku smo se omejili le na raziskave vsakokratnih razmer, v katerih živi prebivalstvo. Pričakujemo lahko nove pristope k proučevanju življenjske ravni, ki bodo težili tudi k spoznavanju procesov njenega (prostorskega) spreminjanja. Seveda pa je mogoča tudi praktična uporaba spoznanj tovrstnih raziskav. Značilen primer je spremljanje (prostorskih) učinkov izvajanja določenih političnih odločitev na različne vidike življenjske ravni prebivalstva. Tudi v navedenih primerih bo vse bolj potrebna uporaba geografskih informacijskih sistemov. Brez geografskega informacijskega sistema si sodobne kompleksne geografske raziskave življenjske ravni pravzaprav ne moremo več predstavljati.

Literatura in viri

Handbook on social indicators 1989: Studies in methods Series F No. 49, United Nations, Department of international economic and social affairs, Statistical office.

New York.

- Integrated Resource Planning - Sociotechnical and Policy Aspects 1995 (vodja projekta Miha Tomšič; prostorski podatki in analize Marko Krevs): Zbirka prostorskih podatkov in rezultatov analiz. Inštitut Jožef Stefan, Center za energetska učinkovitost. Ljubljana.*
- Krevs, M. 1996: Geografski vidiki življenjske ravni prebivalstva v Spodnjem Podravju s Prlekijo. Elaborat projekta "Možnosti regionalnega in prostorskega razvoja Spodnjega Podravja s Prlekijo". Zveza geografskih društev Slovenije. Ljubljana.*
- Krevs, M. 1997: Vpliv izbora prostorske enote na rezultate geografskih statističnih analiz na primeru Slovenije. Raziskovalno poročilo. Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo. Ljubljana.*
- Krevs, M. 1998: Geografski vidiki življenjske ravni prebivalstva v Sloveniji. Doktorska disertacija (pred zagovorom). Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani.*
- MacEachren, A.M. 1994: Some truth with maps: a primer on symbolization & design. Association of American Geographers. Washington.*
- Ružič, G. 1995: Socialni indikatorji za Slovenijo. Statistika dela, delovnih in življenjskih pogojev, Zbornik referatov 5. mednarodnega statističnega posvetovanja, Radenci '95. Statistično društvo Slovenije, Statistični urad Republike Slovenije. Ljubljana.*

VZPOSTAVITEV GIS-A NARAVNE DEDIŠČINE NA PRIMERU RADENSKEGA POLJA

Barbara Lampič in Aleš A. Smrekar

Inštitut za geografijo

Trg francoske revolucije 7, Ljubljana

barbara.lampic@uni-lj.si

ales.smrekar@uni-lj.si

Izvleček

UDK 504:659.2:91

V prispevku predstavljamo vzpostavitev GIS-a naravne dediščine na Radenskem polju. Evidentirali smo 21 objektov naravne dediščine, katerih podatki so zbrani v relacijski bazi in obdelani z računalniškim programom MAPINFO.

Ključne besede: kraško polje, Radensko polje, inventarizacija naravne dediščine, krajinski park

Abstract

UDC 504:659.2:91

The restoration of the GIS of natural heritage, the case of Radensko polje

The contribution presents the restoration of the GIS of natural heritage in the Radensko polje. We keep a record of 21 structures of natural heritage whose data are kept in relation – base and processed by the MAPINFO computer programme.

Key words: karst polje, Radensko polje, inventarization of natural heritage, landscape park

1. Uvod

Na primeru kraškega Radenskega polja želimo prikazati možnosti za zasnovo GIS-a na področju inventarizacije naravne dediščine. Dejstvo, da zakon o naravni in kulturni dediščini (Ur. L. SRS, št.1/81) predvideva izdelavo pregledov naravne in kulturne dediščine kot eno od strokovnih podlag za nadaljnje delo in ukrepanje, še dodatno podkrepi prizadevanja, da je potrebno ta segment urediti na širšem in bolj sistematičnem nivoju.

Predstaviti želimo vsebinski in metodološki pristop k problematiki inventarizacije, s katero smo se soočili ob raziskavi z naslovom Geološke, geomorfološke in hidrološke značilnosti Radenskega polja. Na tem območju je predviden krajinski park Radensko polje, ki naj bi imel dve različni stopnji varovanja. Širša, zunanja meja skoraj v celoti poteka po najbližjih grebenih nad Radenskim poljem (to širše območje naj bi obsegalo 12,93 km²), meja ožjega območja Radenskega polja, ki je bila tudi predmet raziskave, pa poteka po robu samega dna polja in naj bi obsegalo zgolj 3,9 km². Poleg obravnave omenjenega območja in vseh kraških pojavov, ki so za to pokrajino najbolj značilni, smo poseben poudarek dali tudi samemu kartiranju celotnega Radenskega polja ter evidentiranju 21 najpomembnejših objektov naravne dediščine. Nivo inventarizacije se je na tako omejenem območju seveda razlikoval od inventarizacije celotne Slovenije, ki so jo že v preteklih letih izdelale strokovne službe za varstvo naravne in kulturne dediščine, kot inventar najpomembnejše naravne dediščine Slovenije (1. in 2. del). Na tem območju so kot objekta naravne dediščine izpostavili le Zatočno jamo (ponor reke Šice) ter Radensko polje v celoti.

Za potrebe raziskave smo kartirano gradivo digitalizirali in obdelali na kartah v merilu 1 : 5000 in 1 : 25.000. Vsak digitaliziran objekt ima svojo identifikacijsko številko in pripadajoče podatke, ki so zbrani v relacijski bazi. Gradivo je obdelano z računalniškim

programom MAPINFO.

2. Naravne značilnosti Radenskega polja

Grosupeljska kotlina je prehodni kraški svet, njen skrajni jugovzhodni del, Radensko polje, pa pravo kraško polje. Tod se pojavljajo vse značilnosti krasa, od kraških izvirov, ponikalnic, estavel do podzemeljskih kraških oblik.

Radensko polje se razteza v dinarski smeri, od severozahoda proti jugovzhodu, v skupni dolžini štiri kilometre, široko pa je največ kilometer. Nadmorska višina celotnega polja je precej enotna, od 326 m do 318 m z najnižjo hipsografsko točko 318 m v skrajnem jugovzhodnem delu polja (Dno), na ponoru Šice. Sredi polja se dviguje osamelec Kopanj, ki doseže nadmorsko višino 392 m. Uravnano dno polja je obdano z vzpetinami, ki se dvigujejo do 340 m nad dnom.

Obrobje Radenskega polja in osamelec Kopanj sta zgrajena iz jurskih karbonatnih kamnin, v katerih so se razvili najbolj značilni kraški pojavi obravnavanega območja. Matično kamnino Radenskega polja prav tako sestavljajo jurski apnenci, ki so razen v ponorih in nekaterih estavelah povsod prekriti z aluvialni nanosi v debelini od 1 do 10 m. Dno polja v nadmorski višini 318 do 326 m je na zahodnem delu polja višje kot na vzhodnem, zato je gline več na vzhodu (8 do 10 m) kot na zahodu (5 do 6 m), (Meze 1977)

Prsti Radenskega polja so pod velikim in stalnim vplivom površinske in podzemne vode. Tako na Radenskem polju, z izjemo skrajnega severnega dela, prevladujejo hidromorfne prsti, ki nastajajo pod vplivom večjega deleža vode. Fizikalne, kemične in mikrobiološke lastnosti teh prsti so slabe, vsebujejo malo rastlinskih hranil in z vidika kmetijskega obdelovanja tla niso primerna za gospodarsko rabo. Prav zaradi tega je Radensko polje poseljeno samo na jugozahodnem delu, kjer sta tik ob robu manjši naselji Velika in Mala Račna s 339 prebivalci.

Vode Radenskega polja, ki tečejo v smeri zahod - vzhod, se zbirajo z večjega dela Grosupeljske kotline, Škocjanskega podolja in povirja Rašice ter sodijo v porečje Krke.

Stalna vodotoka na Radenskem polju sta Dobravka na severu in Šica na jugu. Zelenka, ki izvira iz estavel pri Predolah, je le občasni vodni tok. Prav estavele so ena izmed glavnih značilnosti Radenskega polja in so večji del leta napolnjene z vodo. Estavela je kraški vodni objekt, ki ima ob visoki vodi funkcijo izvira, ob upadanju pa funkcijo ponora. (Gams 1973). Ta pojav je v Sloveniji najbolj značilen in razširjen prav na Radenskem polju, še posebej ob Zelenki in v osrednjem delu polja.

Poplavnemu svetu pripada večji del Radenskega polja. Ob obilnejših padavinah nastane jezero, ki obsega območje od Boštanja do Velike Račne po dolžini in vsej širini, ki je v nadmorski višini do 326 m, ob katastrofalnih poplavih pa voda zalije površje do 330 m nadmorske višine. Obe naselji na Radenskem polju sta izven poplavnega oziroma mokrotnega sveta.

3. Inventar naravne dediščine na Radenskem polju

Z razglasitvijo območja Radenskega polja v eno izmed varstvenih skupin - krajinski park, naj bi začel veljati strožji režim varovanja. V ta namen smo na ožjem območju z obsegom 3,9 km² opravili inventarizacijo 21 najpomembnejših objektov naravne dediščine.

Inventarni list naravne dediščine na Radenskem polju vsebuje naslednje elemente:

1. zaporedno številko objekta (evidentiranih je 21 objektov),

2. ime objekta (najbolj pogosto uporabljeno lastno ime, pri objektih, brez lastnega imena je dodana opisna oznaka),
3. Gauss - Kruegerjeve koordinate (pri linijskih objektih začetna in končna točka, pri območnih in točkovnih objektih središčna točka),
4. ime temeljnega topografskega načrta v merilu 1 : 5000 (TTN 5),
5. dimenzije objekta (pri linijskih objektih v dolžinskih metrih, pri območnih objektih v kvadratnih metrih in pri jamah dolžina sistema v metrih),
6. vrsta naravne dediščine (evidentirane so površinska in podzemeljska geomorfološka ter hidrološka dediščina),
7. opis objekta (fizični opis objekta in njegove neposredne okolice),
8. dostopnost objekta (način dostopa - peš oziroma s prevoznim sredstvom),
9. opombe (morebitne posebnosti objekta).

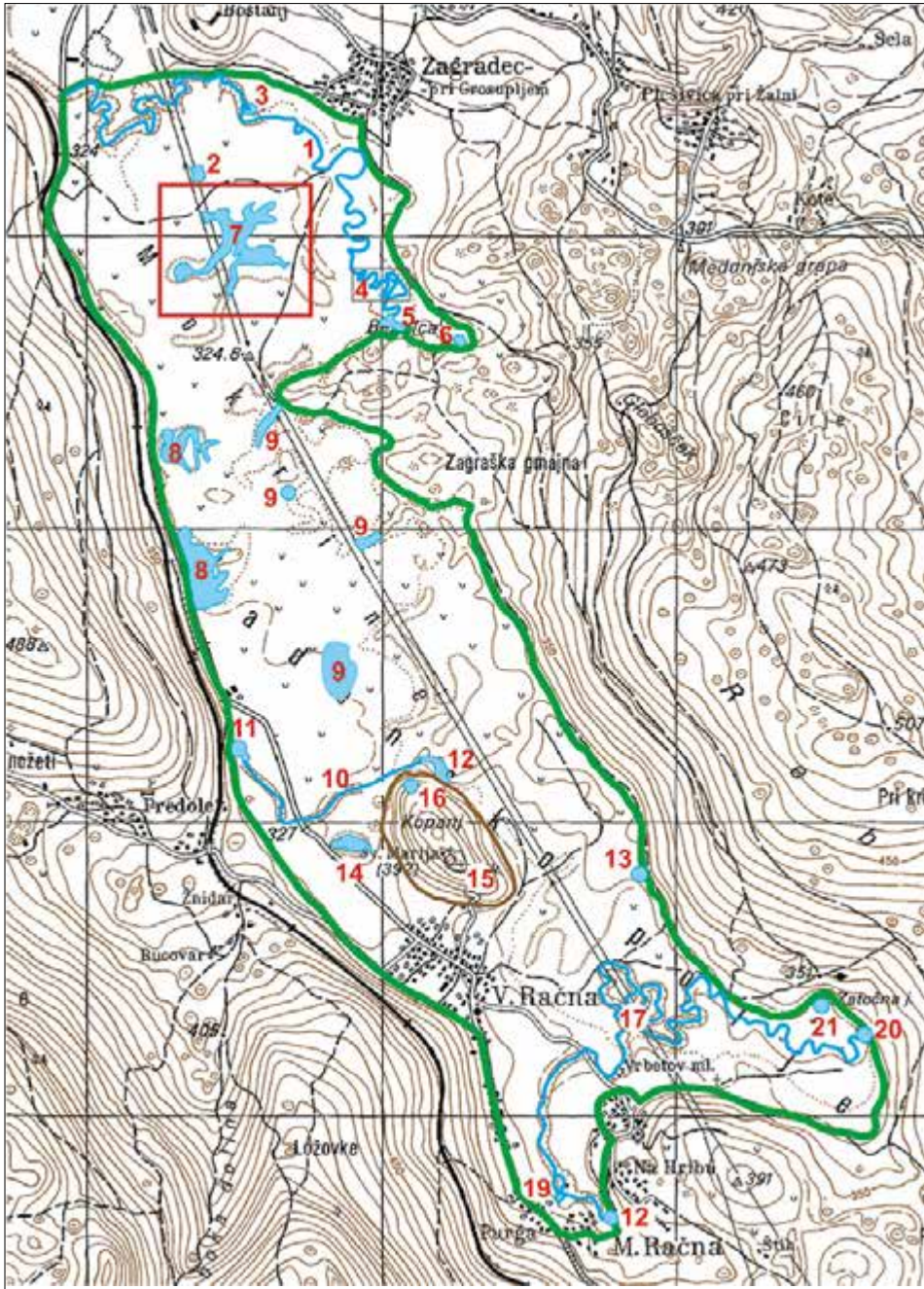
Vsak evidentiran objekt je fotografiran z do tremi posnetki. Lega posameznega obravnavanega objekta je prikazana na izseku iz topografske karte 1 : 25.000, natančno vrisan obravnavan objekt pa je vrisan na izseku TTN 5.

Vsi ti podatki so zbrani v dveh skupinah podatkovnih baz v računalniškem programu MAPINFO. V geokodirani bazi podatkov so zapisani objekti, ki so predstavljeni točkovno, linijsko ali poligonsko, k temu pa spada še atributna baza, ki sta medsebojno povezani. Vsak objekt ima na TK 25 svoj atribut, na katerega so vezani določeni, že zgoraj navedeni podatki. Z označitvijo tega objekta z miško se na zaslonu prikaže izsek iz TTN 5 z natančno lokacijo izbranega objekta in vsemi opisnimi podatki, vsebuje pa lahko tudi pot do lokacije fotografije, ki je shranjena na trdem disku.

Evidentirali smo 21 točkovnih, linijskih in ploskovnih objektov: 3 celotne vodotoke (linijski), 4 izvire (točkovni), 4 ponore (točkovni), 3 ponorne jame (točkovni), 5 sistemov estavel (ploskovni), osamelec (ploskovni) in skupino meandrov reke Dobravke (linijski).

Ponikalnica Dobravka (objekt 1), ki je glavni vodni tok Grosupeljske kotline po prehodu v Radensko polje, dolvodno od mostu ceste Veliko Mlačevo - Velika Račna, meandrirajo po pretežno neregulirani, naravno ohranjeni strugi. Sprva je vrezana v aluvialno ravnicu do 5 m, nato pa se zelo hitro pogloblja in doseže ob ponoru Veliko retje več kot 10 m globine. V dnu korita pred ponorom Dobravka večkrat zadene na apneniško podlago, v katero ponikne del vode. Ponor Veliko retje (objekt 3) sproti požira le nizko ali srednje visoko vodo in je prvi večji ponor reke Dobravke, ki se nahaja v sami strugi. Ponor je globoko vrezan v glineno podlago in na nekaterih mestih doseže apneniško živoskalno osnovo. Za njegovo razbremenitev gorvodno, na desni strani Dobravke, skrbijo pomožne ponikve oziroma ponori Kote, Mihovka in Panšče, ki z znatnim obsegom zmanjšujejo intenzivnost polnjenja glavnega ponora. Te tri pomožne ponikve oziroma ponore voda ne doseže istočasno, saj najprej priteče v Kote (objekt 2), ki so največje, nato v Mihovko in nazadnje v še Panšče. Do najzanimivejših Kot vodi več deset metrov široka "slepa dolina" s strugo, ki ima plitvo vrezane okljuke, pod površje pa voda izginja v številnih ponorih.

Ob visoki vodi Dobravka odteka naprej v širokem toku proti jugovzhodu, kjer naredi šest izrazitih okljuk (objekt 4), ki so zelo plitvo vrezane v glineno naplavino. Izliva se v tri ponore Beznica (objekt 5), južno od Zagradca, od katerih sta dva večja ob samem vznožju hriba, tretji pa se nahaja v zadnjem delu struge. Samo ob ekstremno visokih vodah se Dobravka izliva v manjši ter nekaj višje ležeči ponor Tekoča rupa (objekt 6), ki leži jugovzhodno od Beznice.



Slika 1: Evidentirani objekti naravne dediščine na Radenskem polju (vir: Topografska karta merila 1 : 25.000, Velike Lašče, © Geodetska uprava Republike Slovenije, 1985).

Če voda še naprej narašča, se začenja ob Beznici zlivati v suho, z vegetacijo poraščeno strugo. Ta poteka od Beznice ob robu polja najprej v jugozahodni smeri, kmalu pa se preusmeri proti jugovzhodu ob vzhodnem robu Radenskega polja proti Šici. Suho strugo spremljajo po vsej poti proti jugovzhodu na robu ravnine številne ponikve. Glinasta naplavina je tod tanka in matična, apneniška osnova blizu površja. V ekstremnih razmerah priteče voda do največjega in zadnjega ponora pred iztekom v Šico, do jame Pekel, jugovzhodno od Kopanja. Temu sledi vdor Dobravke v bližnjo Šico in po njej v jamski sistem Viršnica, če hkrati ne nastopi visoka poplavna voda tudi v Šici. Če je tako, udarita oba visoka poplavna vala skupaj in takrat vdre poplavna voda Dobravke nazaj. Tako pride do ekstremnih poplav, ki zalijejo skoraj celotno Radensko polje, poplavna voda pa se umika v obratni smeri.

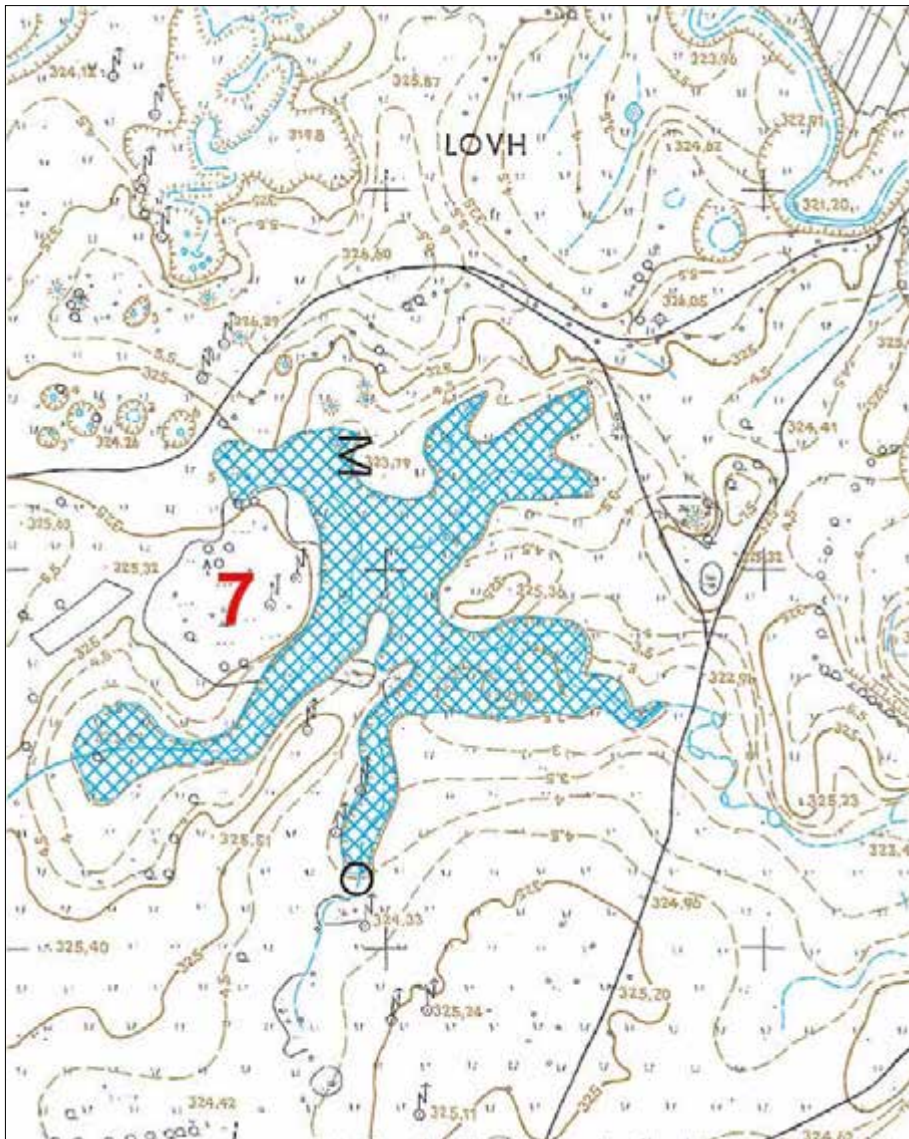
Mokrine, ki predstavljajo osrednji del Radenskega polja severno od osamelca Kopanj, so zaradi dolgotrajnih poplav za kmetovalce bližnjih naselij Velika in Mala Račna brez večje gospodarske vrednosti, saj so večji del leta zamočvirjene. To območje, prepreženo s številnimi estavelami in ponori, ima zaradi teh specifičnih naravnih razmer velik naravovarstveni pomen.

Srednice (objekt 7), največji sistem estavel na Radenskem polju, so razčlenjene na več jezikov in ležijo južno od ponora reke Dobravke Kote. Na območjih estavel je naplavina večkrat razkrita do živoskalne osnove. Ob umikanju voda se Kote in Srednice istočasno izpraznijo.

Južno od tod, ob zahodnem in vzhodnem robu polja, potekata dva niza sistemov estavel. Zahodni (objekt 8) leži tik pod cesto Veliko Mlačevo - Velika Račna v smeri severozahod-jugovzhod in je sestavljen iz dveh samostojnih sistemov, saj nista neposredno vezana na noben vodotok. Večjega na jugu imenujemo Novljanovo retje. Vzhodni niz sistemov estavel (objekt 9) leži južno od skalnega pomola, kjer se polje najbolj zoži, v smeri severozahod-jugovzhod. Tudi v sušnem obdobju je to eno redkih območij, kjer se zadržuje površinska voda. V severnejšem sistemu, imenovanem Retje, se voda zadržuje v kotanjah, medtem ko je južnejše Blato, na kar nas opozarja že ime, edino večje stalno zamočvirjeno območje na Radenskem polju.

Na celotnem osrednjem območju prihaja do rednih poplav, ki so pogojene z vodostajem Dobravke. Istočasno, ko odteče voda iz Kot, se izpraznijo tudi Srednice in estavele v severnem delu zahodne polovice polja ter okoli Kopanja, ne pa tudi estavele na vzhodu. Celoten cikel traja poleti sedem do deset dni, v pozni jeseni, pozimi in v zgodnji pomladi pa je običajno dolgotrajnejši.

Zelenka (objekt 10) je manjši in nestalen kraški vodotok, ki ne narašča močno in nenadno, ampak enakomerno. Izvira iz globoke lijakaste kotanje sistema estavel (objekt 11) na zahodnem robu polja. V lijaku večjega sistema estavel se voda zadržuje večino leta. Še do pred nekaj desetletji so domačini poglabljali dno najgloblje estavele, saj jim je le ta služila kot stalen vir pitne vode. Ko voda doseže prek vmesne manjše kotanje korito potoka, začne teči po Radenskem polju. V zgornjem toku, ki je usmerjen proti jugovzhodu in poteka zahodno od glavne ceste ter kasneje proti vzhodu, je korito po zelo zaraščeni strugi med njivami regulirano. Vodotok teče mimo estavel Špearjevo retje I, ki niso neposredno povezane z Zelenko. Estavele Špearjevo retje II (objekt 12) severno od Kopanja doseže Zelenka po neregulirani strugi, kjer ob nižji vodi tudi ponika. Od tod nadaljuje pot proti Dobravki, ob nekaj višjem stanju pa voda doseže estavele Sihurke, ki so od struge



Slika 2: Objekt naravne dediščine številka 7 (vir: Temeljni topografski načrt merila 1 : 5000, list Ljubljana J 50, © Geodetska uprava Republike Slovenije, 1996).

odmaknjene proti severovzhodu več kot 150 m. Ob najvišji vodi se podaljša tok Zelenke vse do vzhodnega robu Radenskega polje, kjer ponika v jamo Pekel (objekt 13), kamor se izliva tudi visoka voda Dobravke. Vhod v jamo je na dnu 10 do 12 m visoke skalne stene iz liasnega apnenca. Vhodni del jame je zablaten in delno zasigan.

Nad dnom Radenskega polja se južno od toka Zelenke dviguje osamelec Kopanj (objekt 15), ki ga je Gams (Gams 1974) označil kot primer najlepšega huma pri nas. To je edina vzpetina na Radenskem polju in predstavlja korozijsko-erozijsko-denudacijski ostanek

višjega reliefa. Z višino 392 m se za 66 m dviguje nad dnom kraškega polja. V nasprotju s travnatim poljem je Kopianj porasel z gozdom. Na njegovem severovzhodnem pobočju je v nekaj metrov dolgem in 10 m širokem spodmolu tik pod kapelico na višini 350 m stalni vodni izvir arteškega tipa (objekt 16), imenovan Marijin studenec, ki po trditvah domačinov dobiva vodo z območja Jelovca. Ta naj bi se podzemno pretakala pod poljem in pod tlakom dosegla izvir na pobočju Kopianja. (Meze in drugi 1981)

Zahodno od Kopianja, ob cesti Veliko Mlačevo - Velika Račna, leži Špeharjevo Retje I (objekt 14), ki je samostojen sistem estavel, neodvisen od bližnjega vodotoka Zelenke. Na Radenskem polju je to ena večjih kotanj, na dnu katere je le mestoma vidna živoskalna osnova.

Južnemu delu Radenskega polja daje ponikalnica Šica (objekt 17) najizrazitejši kraški značaj. Tu lahko na majhnem območju opazujemo vse elemente prave ponikalnice. V izvire na skrajnem jugozahodu Radenskega polja doteka voda podzemeljsko iz ponorov Rašice, Močil in Železniške Mrzlice. Izmed številnih izvirov ob skalnem robu polja sta najizdatnejša bruhalnika izvira Šica in izvir Tolmun. Izvir Šica (objekt 18) je sestavljen iz dveh bruhalnikov v manjši zatrepni dolini pod Malo Račno. To sta najvišje ležeča izvira in voda prihaja na površje le ob višjem vodostaju z izdatnejšim južnim izviro. Nekaj nižje v sami strugi je ob ostankih mlina izvir Liznikove lipce. Dolvodno se Šici z leve strani pridruži voda iz samostojnega izvira Podkašča, nekaj nižje na isti strani pa še tik ob strugi samostojen izvir Mežnarjeve lipce. Izvir Tolmun (objekt 19), ki ga domačini imenujejo Tmuna, je najbolj stalen izvir Šice in je 200 m dolvodno od bruhalnikov Šica. Voda izvira nekaj deset metrov stran od levega brega struge, se zbira v lijakasti kotanji, od tod pa odteka v strugo. Najnižji izvir je Studenec pod žago, kjer voda izvira pod poslopjem nekdanje žage in vre izpod temeljev objekta ter se po krajšem samostojnem toku pridruži Šici.

Šica po pol kilometra poti proti severu zavije proti vzhodu in zaradi majhnega strmca meandriira v globokem glinenem koritu, katerega bregovi so močno porasli z vegetacijo. V jugovzhodnem podaljšku polja, imenovanem Dno, Šica na višini 318 m ponika v jamski sistem Viršnica, ki ga sestavljata Zatočna in Lazarjeva jama in sta med seboj povezani z umetnim rovom, nad poljem pa je v gozdu udornica, ki je edini naravni vhod v jamski sistem.

Poprečna in normalno visoka voda ponika v Zatočno jamo (objekt 20), ki je ob ponornih razpokah umetno razširjena, v nadaljevanju pa je izkopen 80 m dolg tunel, ki jo povezuje v jamski sistem Viršnica. Pred betoniranim vhodom v jamo so dvoje kovinske grablje, ki preprečujejo vdor vejevja in drugega večjega materiala v jamo. Ko ponor v njej ne more požreti vse vode, se ta dvigne tako visoko, da začenja odtekati v 150 m oddaljeno in nekaj metrov višje, na severozahodu ležečo Lazarjevo jamo (objekt 21), ki ima funkcijo pomožnega ponora. Tudi ta je ob ponornih razpokah umetno razširjena. Pred betoniranim vhodom v jamo so zaščitne kovinske grablje. Zahodno od Lazarjeve jame je na vznožju skalnega obroba Radenskega polja niz manjših ponikev in ponorov v korodiranem apnencu, ki ob močnem navalu vode razbremenjuje obe jami. Podzemeljsko odteka Šica, kakor tudi vse ostale vode z Radenskega polja, k 5,1 km oddaljenemu in 50 m nižje ležečemu izviru Krke.

4. Sklep

Radensko polje, jugovzhodni odrastek Grosupeljske kotline, je primer, ki ima razvite

prav vse značilnosti kraških polj: višji kraški obod iz apnenca z dolomiti, uravnano, s kvartarnimi naplavinami pokrito dno, kraške izvire na eni strani, ponikalnico, ki teče prek polja, in kraške požiralnike ter jame na drugi strani. Zaradi številnih kraških pojavov in higrofilnega rastlinstva je v pripravi postopek za zaščito Radenskega polja kot krajinskega parka. Predstavitev vzpostavitve računalniške baze podatkov evidentiranih objektov naravne dediščine na majhnem in pokrajinsko zaključenem območju je samo primer GIS-a, ki bi ga bilo potrebno vsebinsko dopolniti in razširiti na nivo celotne države. Sama relacijska baza pa nam omogoča predvsem to, da se baza po potrebi ažurira in se vsaka taka sprememba takoj pokaže v prostoru.

Literatura in viri

- Gams, I. 1973: *Slovenska kraška terminologija*. Ljubljana.
- Gams, I. 1974: *Kras, zgodovinski, naravoslovni in geografski oris*. Ljubljana.
- Gams, I. 1986: *Razvoj reliefa na zahodnem Dolenjskem (s posebnim ozirom na poplave)*, GZ 26. Ljubljana.
- Gospodarič, R. 1972: *Viršnica - jamski sistem Šiće ob Radenskem polju, Naše jame*, 14. Ljubljana.
- Inventar najpomembnejše naravne dediščine Slovenije (2. del) 1991*. Ljubljana
- Lampič, B., Smrekar, A.A. 1997: *Geološke, geomorfološke in hidrološke značilnosti Radenskega polja, raziskovalna naloga*. Ljubljana.
- Meze, D., Lovrenčak, F., Šercelj, A. 1981: *Poplavna področja v Grosupeljski kotlini*, GZ 20/2 1980. Ljubljana.
- Meze, D. 1977: *Prispevek k hidrologiji Radenskega polja*. GV. Ljubljana.
- Osnovna pojasnila o varstvu narave v Sloveniji 1993: Gradivo za posvet*. Ljubljana.

Objava TK 25 in TTN 5 na podlagi dovoljenja Geodetske uprave Republike Slovenije št. 90411-88/1998/2. Kartografija: Iztok Sajko, Inštitut za geografijo.

GIS MODEL KULTURNE DEDIŠČINE V REPUBLIKI SLOVENIJI

Franc J. Zakrajšek
Urbanistični inštitut Republike Slovenije
Jamova 18, Ljubljana

Ksenija Kovačec Naglič
Ministrstvo za kulturo
Uprava Republike Slovenije za kulturno dediščino
Plečnikov trg 2, Ljubljana

Izvleček

UDK 008:659.2:91(497.4)

Sodobna informacijska podpora kulturni dediščini (npr. Zbirni register kulturne in naravne dediščine) se sistematično uvaja v Republiki Sloveniji od leta 1990 dalje. Eden od sestavnih delov je geografski informacijski sistem dediščine. V referatu so predstavljeni koncept GIS kulturne dediščine, informacijski podsistemi kulturne dediščine kot viri podatkov za GIS in prototipna modela GIS.

Ključne besede: GIS, kulturna dediščina, informacijski sistemi

Abstract

UDC 008:659.2:91(497.4)

GIS model of cultural heritage in the Republic of Slovenia

An up-to-date information support on cultural heritage (e.g. Central Register of Heritage) is being introduced in Slovenia after 1990. One of its parts is geographical information system of heritage. In the paper the following subjects are elaborated: the concept, information sub-systems of cultural heritage as data sources for GIS and its prototype models.

Key words: GIS, cultural heritage, information systems

1. Koncept

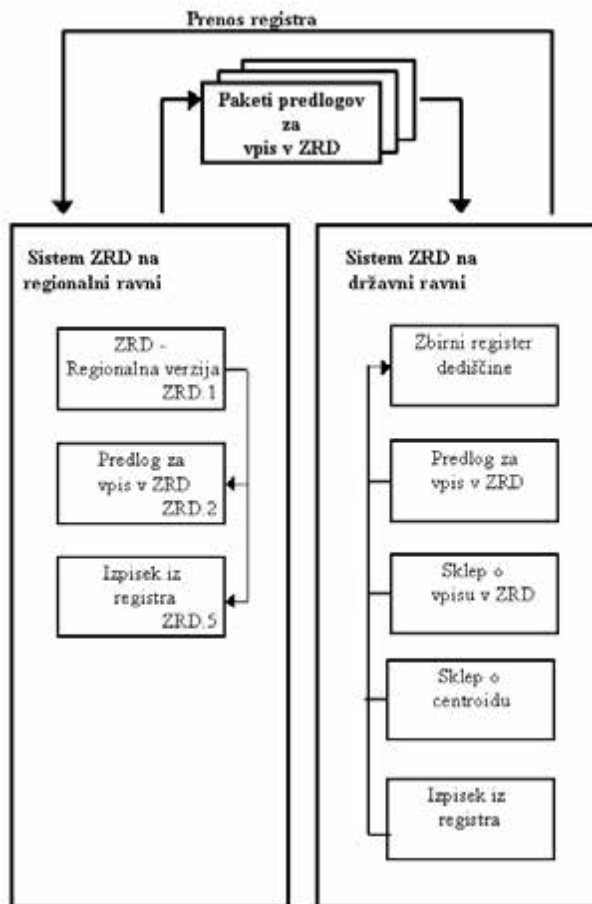
Geografski informacijski sistem dediščine (GISD) ni opredeljen kot samo zadosten in zaprt informacijski sistem, temveč kot pogled na podatke o dediščini, ki se logično povezujejo v geografskem prostoru. GISD vsebuje realne povezave do multimedijskih podatkovnih objektov:

- ki izvirajo na področju kulturne dediščine (interni sloji),
- ki ne izvirajo na področju kulturne dediščine, vendar so potrebni pri postopkih varstva in dokumentacije dediščine (eksterni sloji).

2. Informacijski podsistemi

Informacijsko podpora kulturni dediščini sestavljajo trije osnovni podsistemi:

- **registracijski podsistem:** ko je 'nova' enota kulturne dediščine 'odkrita' se prične izvajati formalni postopek registracije (ZRD - Zbirni Register Dediščine; sliki 1 in 2);
 - **dokumentacijski podsistem:** v podatkovni bazi dokumentacijskega podsistema so shranjeni rezultati inventarizacije, zbiranja dokumentov in drugih raziskovanj in poizvedovanj (slika 3);
 - **administrativni podsistem:** informacijska podpora formalnim postopkom
- Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1997-1998, str. 167-173, Ljubljana 1998*



Slika 1: Vzdrževanje zbirnega registra dediščine.

varstva, javnega financiranja, spremljanja stanja dediščine in podobno.

3. Zakonska podlaga

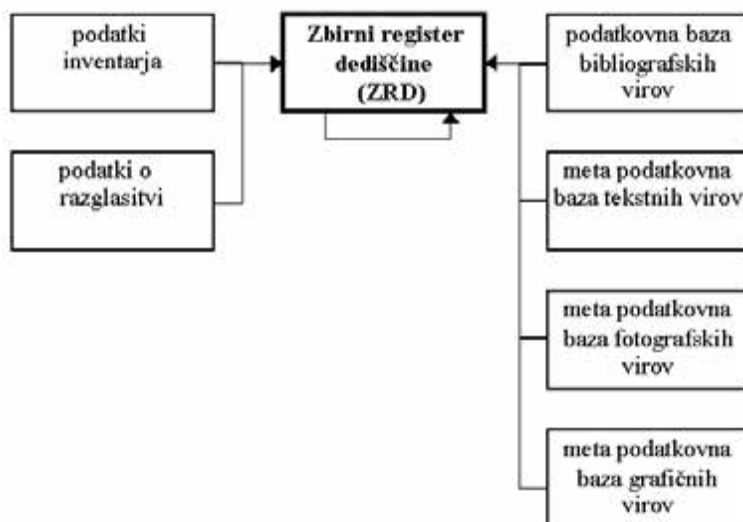
Zakonsko podlago ZRD zagotavlja Pravilnik o vodenju zbirnega registra kulturne in naravne dediščine, ki je bil sprejet v letu 1995 (UL RS 26/95). Pravilnik

- definira obseg podatkov, s katerimi je enota dediščine vpisana v ZRD (predlog za vpis v ZRD),
- opredeljuje način in postopek vzdrževanja ZRD (vrste dokumentov, posredovanje podatkov v obliki elektronskega obrazca) in
- uvaja obvezno sklicevanje na evidenčno številko dediščine (EŠD) iz ZRD za vse upravne organe in strokovne službe, ki se v okviru svojega delokroga vključujejo v sistem varstva dediščine.

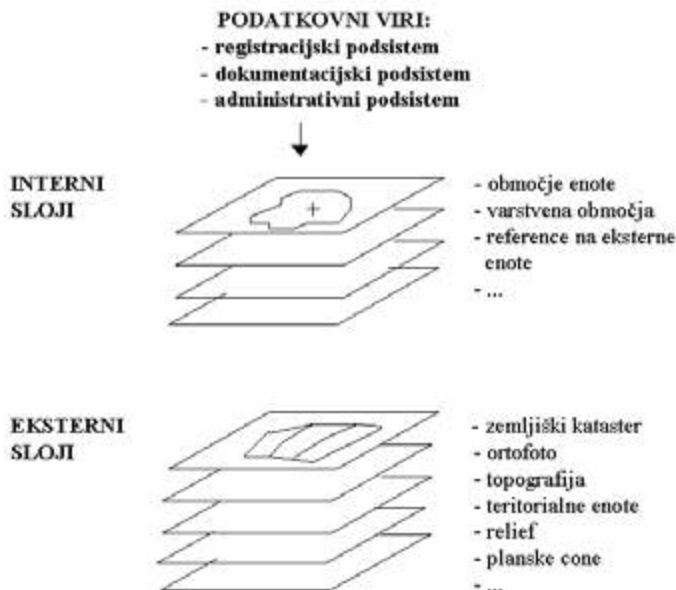
Svet Evrope je leta 1995 sprejel priporočilo Core Data Index, s katerim so določeni minimalni podatki za dokumentiranje arhitekturne dediščine, v letu 1998 pa je bilo sprejeto

| | |
|--|--|
| <p>Republika Slovenija, Ministrstvo za kulturo Obr. ZRD: 2 Uprava Republike Slovenije za kulturno dediščino ZBIRNI REGISTER DEDIŠČINE Peštrakov trg 2, Ljubljana</p> <p>Št. predloga: _____ Datum: _____</p> <p>Na podlagi 7. člena pravilnika o vodenju zbirnega registra kulturne in naravne dediščine (Uradni list RS, št. 26/95) se vloga naslednji</p> <p style="text-align: center;">PREDLOG ZA VPIS V ZRD</p> <p>I. PREDLAGATELJ Ime in naslov: _____ _____ _____</p> <p>Vrsta: /_/ / _____</p> <p>II. VRSTA PREDLOGA: /_/ / _____</p> <p>III. OPIS ENOTE KULTURNE IN NARAVNE DEDIŠČINE 1. Identifikacija Evidenčna številka dediščine: # _____ Ime enote: _____ Stronasta imena enote: _____</p> <p>2. Opis enote KND Šifra vrste dediščine: /_/ / _____ Šifra tipa enote: /_/ / _____ Šifra obsega enote: /_/ / _____ Tipološka gesla enote: _____ Tekstualni opis enote: _____ _____</p> <p>3. Lokacija enote KND Šifra naseља: /_/ / _____ G-K koordinate centroida enote Y: _____ X: _____ Z: _____ m Razdalja do naseļa: _____ m Očna površine zemljiča enote: _____ ha</p> | <p>Sliče na karto: Šifra TTNS: /_/ / _____ Šifra TK25: /_/ / _____ Tekstualni opis lokacije: _____ _____</p> <p>4. Povezava z drugimi enotami Sliče na predhodno enoto: /_/ / _____</p> <p>5. Pristajnosti Strokovna področja: _____ Zavod: /_/ / _____</p> <p>6. Varstveni status Vrsta statusa: /_/ / _____ Od dne: _____ Do dne: _____ Akt razglasitve: _____</p> <p>7. Opombe Razlog vpisa/oprjemembe/izpisa: /_/ / _____ Natančnost centroida: /_/ / _____ Dodatne opombe: _____</p> <p>IV. OBRAZLOŽITEV PREDLOGA _____ _____</p> <p>V. PRILOGE _____ _____</p> <p>VI. DOSTAVLJENO Uprava Republike Slovenije za kulturno dediščino ta predlog JE/NI dostavljen tudi na elektronskem obrazcu.</p> <p>VII. PODPISNIKI PREDLOGA Predlagatelj jamči, da so podatki resnični in pridobljeni na legalen način. V primeru, da je predlagatelj zavod za varstvo naravne in kulturne dediščine, ta jamči tudi za strokovno pravilnost podatkov.</p> <p>Odgovorni konservator: _____ Žag: _____</p> <p>Predlog pripravil: _____ Predlagatelj: _____</p> |
|--|--|

Slika 2: Predlog za vpis v ZRD.



Slika 3: Dokumentacijski podsistem.



Slika 4: Sloji GIS dediščine.

tudi priporočilo Core Data Index za arheološko dediščino. Osnovni namen priporočila je poenostavitev pretoka informacij o dediščini na nacionalni in mednarodni ravni. ZRD je usklajen s priporočilom Core Data Index in vključuje vse obvezne podatke iz priporočila (z izjemo podrobnih podatkov o dataciji).

4. Obstoječe stanje

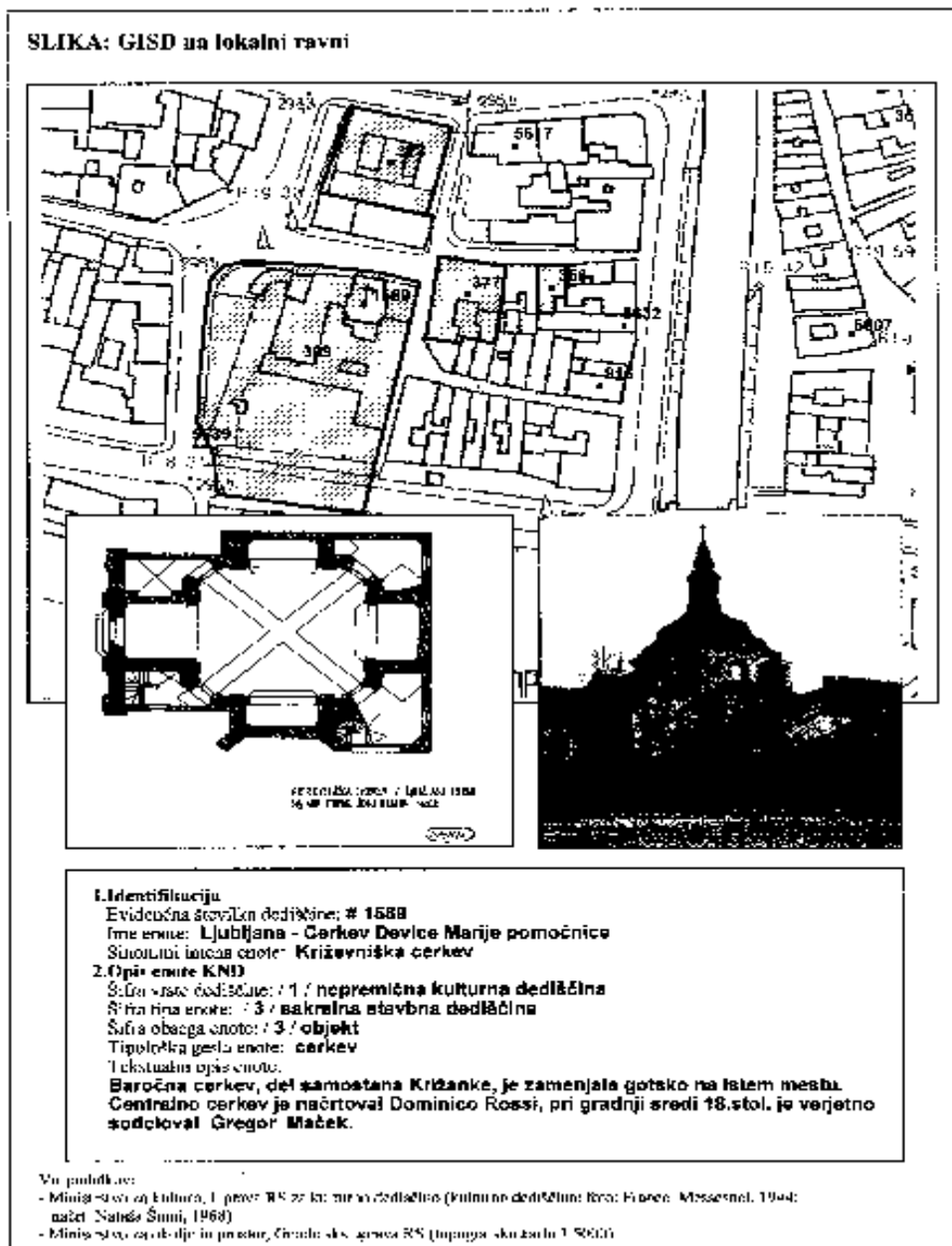
Podsistem za registracijo dediščine (ZRD) je v celoti implementiran in regularno deluje na državni in regionalni ravni. Trenutno ZRD vsebuje podatke o 9910 enotah dediščine, od katerih je 3243 enot formalno vpisanih (s popolnimi / preverjenimi podatki), za ostale enote poteka postopek formalnega vpisa v ZRD.

Zajem podatkov ZRD se je začel v letu 1993 in je doslej obsegal naslednje faze:

- priprava začetne nastavitve podatkovne zbirke ZRD (prepis obstoječih podatkovnih zbirk, ročno popravljanje in dopolnjevanje podatkov),
- izobraževalne delavnice za pripravo predlogov za vpis v ZRD za regionalne zavode,
- priprava predlogov za vpis v ZRD na državni (1175 predlogov) in regionalni ravni (6877 predlogov) ter sklepov o vpisu v ZRD (6070 sklepov).

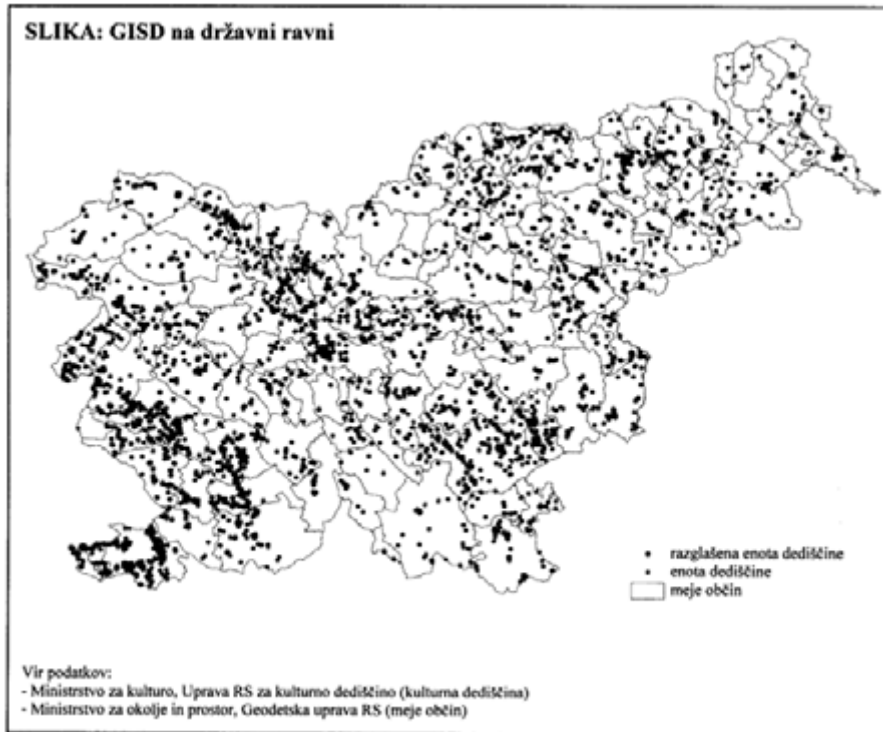
Dokumentacijski podsistem je implementiran samo na državni ravni in vključuje podatke o dokumentaciji, ki jo hrani Uprava RS za kulturno dediščino. Podatkovna zbirka dokumentacijskega podsistema trenutno obsega naslednje podatke:

- podatki o razglasitvah: 7584 razglasitev (v celoti obdelano),
- inventar: 3588 enot dediščine (podatki za posamezne enote niso popolni),



Slika 5: GISD na lokalni ravni.

- fototeka: 41.850 fotografij (približno 35 % vseh fotografij) in 7200 diapozitivov (v celoti obdelano),
- planoteka: 7917 načrtov (več kot 95 % vsega gradiva planoteke),
- bibliografski viri: 415 bibliografskih enot (v testni fazi),



Slika 6: GISD na državni ravni.

- arhivsko gradivo: 1650 spisov (približno 5 % vsega arhivskega gradiva).
Razvoj administrativnega podsistema se še ni začel.

V okviru GISD je zaključena faza prototipnega testiranja (razvoj prototipnega modela, implementacija, testiranje in vrednotenje prototipnega modela). Pridobljeni so bili podatki osnovnih eksternih slojev za območje celotne Slovenije (digitalne karte TTN5, TK25, EHIŠ). Doslej so bili s postopkom ekranske digitalizacije zajeti centri za 4750 enot dediščine in območja za 2530 enot dediščine.

5. Prototipni model GIS dediščine

Razvita in testirana sta dva prototipna modela GIS dediščine:

- prvi GIS model na lokalni ravni, kjer je osnovno merilo 1:5000 (slika 5) in
- drugi GIS model na državni ravni, kjer je osnovno merilo 1:250.000 (slika 6).

6. Programska in strojna oprema

Razvoj in izvajanje informacijske podpore kulturne dediščine je osnovano na naslednji računalniški tehnologiji:

- podsistem za registracijo in dokumentacijski podsistem: PC okolje, elektronski obrazec v DOS okolju,
- zajem centroidov enot dediščine: grafična postaja, ArcInfo; PC okolje, ArcView,

prototipiranje GIS-a dediščine: PC okolje, ArcView.

7. Nadaljni razvoj

V nadaljevanju načrtujemo razvoj GISD in celotne informacijske podpore kulturni dediščini predvsem v naslednjih smereh:

- razvoj in implementacija administrativnega podsistema,
- razširitev področja rednega delovanja geografskega informacijskega sistema dediščine,
- prilagoditve informacijske podpore glede na nov zakon o kulturni dediščini,
- postopno uvajanje bolj sodobne informacijske tehnologije kot je odjemalec / strežnik in 'Windows NT' okolje,
- implementacija dokumentacijskega podsistema na regionalni ravni,
- uvajanje 'on-line' podatkovne baze kulturne dediščine (internet / intranet).

Literatura in viri

- Kovačec Naglič, K. 1996: Zbirni register dediščine. Informatika v državni upravi. Portorož.*
- Zakrajšek, F. J. 1991: Izhodišča za razvoj informacijskega sistema naravne in kulturne dediščine v Republiki Sloveniji. Urbani izziv, no.18.*
- Zakrajšek, F. J. 1995: Documentation of Ensembles and GIS : Case Study: Part of Ljubljana Town : Abstract. Group of Specialists on Heritage Documentation Techniques. Strasbourg.*
- Zakrajšek, F. J. 1995: Primerjava ZRD in " Core Data Index". Ljubljana.*
- Zakrajšek, F. J. 1995: Geografski informacijski sistem dediščine: koncept prototipa. Ljubljana.*
- Zakrajšek, F. J., Kovačec Naglič, K. 1997: GIS Model of Cultural Heritage: The Case of the Republic of Slovenia. Geographical Information '97, Joint European Conference and Exhibition on Geographical Information.*

ARHEOLOŠKI NAPOVEDOVALNI MODELI IN GIS

dr. Zoran Stančič
Znanstvenoraziskovalni center SAZU
Gosposka 13, Ljubljana
zoran@zrc-sazu.si

Tatjana Veljanovski
FGG - oddelek za geodezijo
Jamova 2, Ljubljana

Izvleček

UDK 528.9:659.2:91

Glavni namen tega prispevka je predstavitev rezultatov uporabe GIS-ov v izdelavi arheoloških napovedovalnih modelov. Članek je razdeljen na štiri poglavja. V prvem in drugem poglavju podamo teoretične in metodološke osnove za izdelavo arheoloških napovedovalnih modelov in njihovo zgodovinsko ozadje. Nadalje se osredotočimo na študij primera modeliranja poselitve prostora in sicer na podatkih bronastodobnih gradišč na otoku Brač v srednji Dalmaciji na Hrvaškem. V zaključku povzamemo rezultate raziskav in podamo predloge za nadaljnje delo. Rezultati raziskav so zanimivi zlasti zato, ker so ob že utečenih naravnih dejavnikih za poselitev, podane tudi možnosti upoštevanja družbenih dejavnikov kot napovedovalcev človekove izrabe prostora.

Ključne besede: arheološki napovedovalni modeli, prostorske analize

Abstract

UDC 528.9:659.2:91

Archaeological predictive models and GIS

The main objective of this paper is to present some results on the application of GIS in archaeological predictive modelling. The paper is comprised of four parts. In the first and second chapter the theoretical and methodological background of archaeological predictive modelling is presented. In these chapters special emphasis is paid to the role of GIS in cultural resource management. Later on we focus on the modelling of archaeological settlement distributions through the use of Boolean overlays in GIS for the Bronze Age hillforts from the island of Brač, in Central Dalmatia, Croatia. In the conclusion the results of the research are summarised and the directions of the further research are discussed. This case study is used to demonstrate some options of the application of social factors, beside environmental one, as predictors of human location behaviour.

Key words: archaeological predictive models, spatial analyses

1. Uvod in predstavitev arheoloških napovedovalnih modelov

“Napovedovalni modeli so orodje, ki omogoča projiciranje vzorcev ali medsebojnih odnosov v nepoznan čas ali prostor” (Warren 1990). Teoretične osnove arheoloških napovedovalnih modelov lahko zasledimo v ameriški arheologiji v petdesetih in šestdesetih letih tega stoletja (Dalla Bonna 1994). V tem času se v ameriški arheologiji vedno znova postavlja vprašanje “zakaj so se predzgodovinska ljudstva naselila prav tam, kjer so se”. Za razumevanje prostorskih naselitvenih vzorcev so najprej proučevali razmerje med lokacijami arheoloških najdišč in naravnim okoljem. Med raziskave, ki so postavile temelje in smernice za arheološke prostorske analize nedvomno sodi delo Greena (1973),

Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1997-1998, str. 175-185, Ljubljana 1998

ki pa so mu hitro sledili tudi drugi. Že v okviru teh raziskav so nastajali prvi enostavni napovedovalni modeli, ki so temeljili na opredelitvi odnosov med arheološkimi najdišči in prostorskimi značilnostmi. Ugotovljena razmerja so nato bila posplošena in aplicirana na širša območja, kot rezultat pa so locirana območja, kjer naj bi bila nova, do takrat še neznana najdišča (po Dalla Bonna 1994). Poudarek je bil predvsem na naravnem (environmentalnem) determinizmu, ki predpostavlja, da so bili za lego naselbine v prostoru ključni določeni naravni pogoji. Kaj kmalu se je pokazalo, da bo za dobre napovedi nujno treba vključiti tudi družbene dejavnike. Sama zamisel nikakor ni nova, vendar so arheološki napovedovalni modeli kot jih poznamo danes, torej modeli, ki upoštevajo naravne in družbene dejavnike, dobili materializirano podobo s krepkimi teoretičnimi temelji šele v osemdesetih in devetdesetih letih. Nedvomno so pomembno vlogo pri tem imeli tudi GIS-i, ki arheologom že dolgo niso nepoznani (Allen et al. 1990; Lock, Stančič 1995).

Arheološki napovedovalni modeli so nastali kot rezultat varovanja in upravljanja z arheološko dediščino v ZDA. Glavni razlog za njihovo široko uporabo leži v sami politiki arheoloških raziskav v Ameriki. Arheologi smejo namreč raziskovati samo na zemljiščih, ki so v državni ali zvezni lasti. Ker so s tem površine za arheološke raziskave zelo omejene, se napovedovalni modeli uporabljajo kot orodje, ki podaja verjetnosti o lokacijah najdišč na širšem območju (Allen et al. 1990; Judge, Sebastian 1988a; Kvamme 1992a). Zakonodaja, ki opredeljuje arheološko delo v evropskih državah, je manj restriktivna in arheologom dovoljuje opravljati njihovo delo tudi na zasebnih zemljiščih. V slednjem se skriva tudi del odgovora, zakaj so se arheološki napovedovalni modeli v Evropi uveljavili šele v zadnjih desetih letih. Načeloma arheološki napovedovalni modeli služijo dvema različnima namenoma. Prva možnost je, da arheološki napovedovalni model uporabimo v varovanju in upravljanju s kulturno dediščino. Druga, tudi pravšnja, pa je možnost aplikacij tovrstnih pristopov kot specifičen metodološki pristop k preskušanju in testiranju znanstvenih hipotez. Prvi pristop k lokacijskemu modeliranju je pragmatične narave, primeren za modeliranje sedanje distribucije najdišč, vendar pa pri tem ne poskuša interpretirati izkazanih korelacij. Drugi pristop k lokacijskemu modeliranju je bolj akademske narave, primernejši je za modeliranje nekdanje distribucije najdišč, saj izbira spremenljivk temelji izključno na našem razumevanju lokacijskih dejavnikov, ki naj bi vplivali na sisteme izrabe prostora v preteklosti. V praksi je razlika med obema pristopoma pogosto nejasna (van Leusen 1996).

Osnovna načela arheoloških napovedovalnih modelov so zelo enostavna. Čeprav se tehnološki postopki med seboj razlikujejo, vsi temeljijo na osnovni domeni, da lahko na podlagi poznavanja znanih najdišč ugotovimo, kateri dejavniki vplivajo na njihovo lociranje v prostoru. Najprej torej izberemo in analiziramo razmerja med elementi naravnega ter družbenega okolja in arheološkimi najdišči. Nato statistično ovrednotimo odvisnosti med posameznim dejavnikom in lokacijo najdišča. Na podlagi stopnje odvisnosti izberemo ključne, potem pa ugotovimo, kje se podobni dejavniki še pojavljajo v prostoru. Za tako opredeljena območja lahko napovemo, da je tam možno odkriti nova najdišča.

Kljub enostavnim načelom napovedovalnih modelov pa je njihova izvedba težavna zaradi več razlogov. Najprej je potrebno realni svet, ki ga raziskujemo, poenostaviti. Že sam izbor elementov, ki nam predstavljajo svet in bodo vključeni v model, je zelo subjektivne narave. To z drugimi besedami pomeni, da vsi modeli v določeni meri odražajo subjektivno vlogo opazovalca (Judge, Sebastian 1988b) in opazovanih spremenljivk, ki tekom procesa postajajo t.i. napovedovalke in kot taki torej niso realni. Druga težava pa je sama zmožnost

modela, da napoveduje (Judge, Sebastian 1988b). Napovedovanje nam namreč omogoča definiranje nekih pričakovanj, ki temelji na našem vedenju o le-teh. Vendar je popolno poznavanje vzrokov, ki so pripeljali do nekega dogodka, ki ga proučujemo (na primer: lokacija arheološkega najdišča), danes praktično nemogoče. Naj za ilustracijo navedemo: razlogi za naselitev neke lokacije so tako okoljski (osončenost, dobra tla, nagib, zavetje, bližina vira pitne vode, ...) kot tudi neokoljski. Za slednje pa lahko rečemo, da so to vsi tisti razlogi, ki slonijo bodisi na razumu (sprejemanje odločitev) ali verovanju (npr. ideološka ali kulturna pogojitev). Nadaljnje vprašanje, ki se ob tem zastavlja, je, kako vključiti človeško komponento v napovedovalni model? Tod ponovno trčimo ob že omenjeno pojmovanje realnosti. Ali iz tega sledi, da bomo dobili boljše napoved, če bo model obravnaval primitivnejše skupnosti, ki so delovale po manj in enostavnejših (behaviorističnih) zakonih ali lahko s povečanjem števila (in tudi našega vedenja) spremenljivk-napovedovalk te težave tudi premostimo?

2. Teoretični in metodološki pristopi

Metoda napovedovanja je v svojem bistvu deduktiven proces. Arheološko vedenje, znanje je rezultat induktivnega procesa spoznavanja, toda v nadgradnji arheološkega znanja se nemalokrat oba znanstvena pristopa tudi združita. Vsled temu napovedovalne metode za arheološke vire izvirajo iz dveh vej znanstvenega proučevanja in sicer indukcije ter dedukcije. Zato tudi pri arheoloških napovedovalnih modelih razlikujemo induktivni in deduktivni pristop.

Korenine induktivnega modela lahko povežemo z raziskovanji Juliana Stewarda in Gordona Willeya (Kohler 1988). Oba arheologa sta se ukvarjala z raziskavami poselitvenih vzorcev na regionalni ravni. Pri induktivnih modelih izhajamo iz osnovnih arheoloških podatkov in na njihovi podlagi skušamo zgraditi neke zaključke (Dalla Bona 1994). Induktivno modeliranje izhaja iz lastnosti (značilnosti) poznanih arheoloških najdišč in virov, izhaja torej iz baze arheoloških podatkov. Glavna pomanjkljivost induktivnega pristopa, ki se pokaže v fazi izvajanja, so napake (napake zajema, netočnost informacij, ...), ki se iz baze podatkov selijo v model in v končni stopnji tudi v napoved. Druga pomanjkljivost pa je močna navezanost na statistične metode, ki jih nemalokrat težko izvedemo. Zelo učinkovito metodo proučevanja medsebojnih odvisnosti, regresijsko analizo, namreč lahko uspešno uporabljamo le, če imamo na voljo večje število najdišč. Žal pa smo v večini primerov omejeni le s peščico znanih najdišč. Navkljub tehnološkim težavam, ki jih ta pristop prinaša, pa lahko dandanes zasledimo precej močno težnjo v smeri induktivnega pristopa (van Leusen 1995).

Deduktivni pristop temelji na več teorijah, katerim je skupno to, da obravnavajo človekovo obnašanje. Kot taki sicer bolje ponazarjajo vpliv človeka, toda vseskozi so pod vplivom spreminjanja interpretacij in teoretičnih izhodišč (Dalla Bona 1994). Deduktivni pristop izhaja iz apriornih predpostavk o lokaciji virov. Njihova glavna slabost so ravno apriorne predpostavke, ker jih pogosto težko upravičimo. Izoblikovala sta se dva pogleda: ekonomska atraktivnost dotične lokacije (npr. v bližini so rodovitna tla) in atraktivnost lokacije glede na navade (torej izhajajo iz tradicije, kulturnih norm skupnosti in duhovne identitete). Poleg tega je izbor lokacije lahko tudi odraz izbire lokacije za aktivnosti, in nemalokrat se zgodi, da tovrstne družbene spremenljivke presežejo zakonitosti prostorskih spremenljivk. Pri deduktivnem pristopu torej začnemo s teoretičnim znanjem in

razumevanjem arheoloških podatkov na neki umetni ravni in od tod poskušamo deducirati sklepe o naselitvenih vzorcih in rabi zemlje v preteklosti. Zato, da bi deduktivni modeli bili učinkoviti, morajo izpolniti določene pogoje (Dalla Bona 1994):

- deduktivni model mora upoštevati kako so ljudje sprejemali odločitve o izbiri lokacije; kar pravzaprav zahteva utemeljitev mehanizma odločanja in opredelitev cilja odločanja,
- v deduktivnem modelu morajo biti odločilne lokacijske spremenljivke opredeljene posebej kot kronološke oziroma kot funkcionalne spremenljivke najdišča in
- deduktivni model mora omogočati operacionalizacijo; torej mora biti uporaben in učinkovit v postopku, t.j. mora omogočati meritve na spremenljivkah in mora omogočati, da bodo napovedi primerljive z arheološkimi podatki.

Pod teoretičnim induktivnim in deduktivnim nedrjem sta se v praksi napovedovalnega modeliranja razvili dve skupini oziroma dva metodološka pristopa. Prvega lahko poimenujemo numerični in drugega grafični pristop.

Numerični pristop v napovedovalnih modelih uporablja večvariantno statistiko kot raziskovalno tehniko za identificiranje zvez med spremenljivkami, ki v končni fazi vodijo v napovedovanja območij, kjer bi bilo možno najti arheološke vire. Pristop izhaja iz vrste začetnih domnev, ki so lahko kritične v smislu nespornosti modela. Prva taka domneva je izbira vzorca. Izbrati moramo reprezentativna najdišča, na katerih bomo kar najbolje proučili odvisnosti, ki so hkrati verno prenosljive tudi na najdišča v območju raziskovanja. Najraje se zatakne ravno pri obstoječi podatkovni bazi, saj pogosto ne razpolagamo z zadostnim številom najdišč. Ostale domneve, zaradi katerih trpi numerični pristop, prav tako izhajajo iz statistično pogojenega izhodišča (Dalla Bona 1994). Numerični pristop torej zahteva temeljito poznavanje statističnih tehnik; le s tem predpogojem je lahko tudi interpretacija arheoloških podatkov in izsledkov uspešna.

V napovedovalnem modeliranju je grafični pristop dobil svojo veljavo desetletje po uveljavitvi numeričnega pristopa. In sicer, posledično s tehnološkimi spremembami, v osemdesetih letih, z razvojem GIS-ov. Grafični pristop uporablja tehniko prekrivanja tematskih plasti. Posamezne spremenljivke so predstavljene na samostojnih tematskih plasteh in različne kombinacije spremenljivk zastopajo tudi različne razvojne stopnje napovedovalnega modela. Tak pristop bolj podpira prostorske spremenljivke. Tudi tu je odvisnost med spremenljivkami in najdiščem ovrednotena s statističnimi tehnikami. Vendar v grafičnem pristopu statistika nima vloge raziskovanja zvez med samim postopkom izgradnje modela, temveč se jo uporablja kot orodje za ovrednotenje jakosti zvez med spremenljivkami in najdišči, potem ko je model že razvit.

Posamezne spremenljivke lahko vključimo v napovedovalni model na dva načina. Metoda presekov je najbolj razširjena metodologija v izgradnji napovedovalnih modelov. Temelji na domnevi, da vse spremenljivke, ki so vključene v napovedovalni model, enakovredno determinirajo lokacijski potencial najdišča. Izračun visokega, srednjega ali nizkega lokacijskega potenciala je enostaven proces določitve števila spremenljivk, ki konvergirajo v dani lokaciji. Območja z velikim številom spremenljivk so označena kot območja z visokim potencialom za najdišče. Prednost takega pristopa je v enostavnosti in transparentnosti, na žalost pa slabo odraža kompleksnost človekovega delovanja v prostoru in prav tako osnovni človekov vzgib, sprejemanje odločitev pri izbiri svojega prostora.

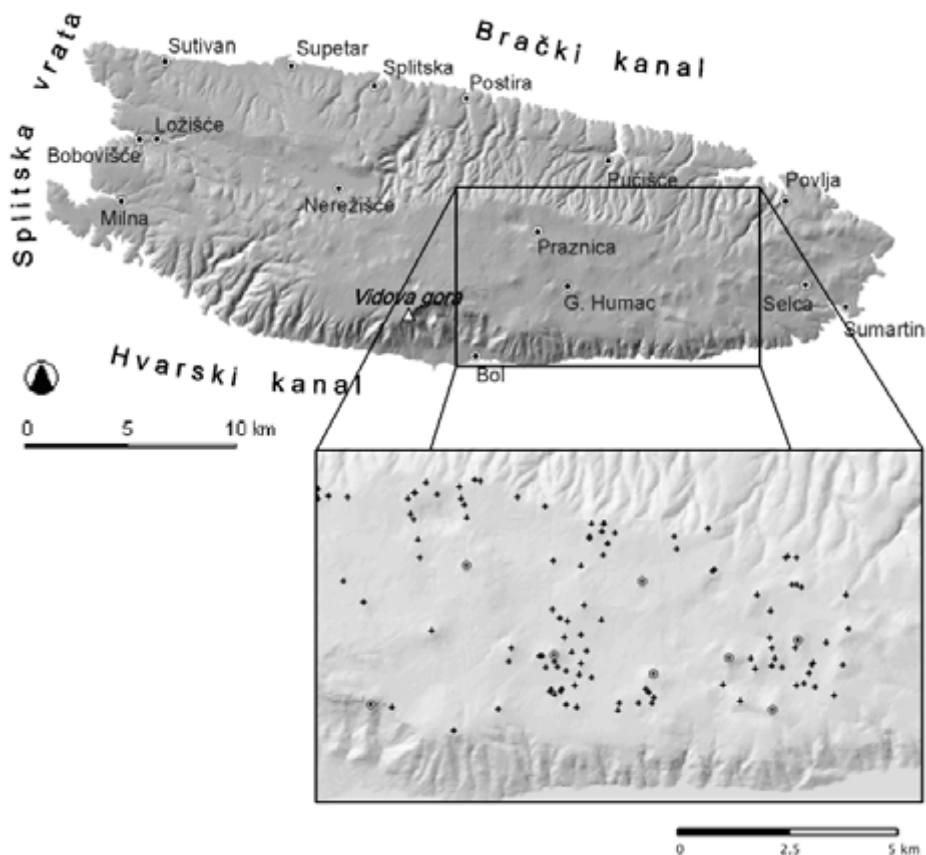
Metoda uteženih vrednosti je na področju napovedovalnih modelov mnogo manj razširjena. Izhaja pa iz osnovne domneve, da je vsaka prostorska spremenljivka različno sodelovala pri nekdanjem izbiranju človekove lokacije. Zato se vsaki prostorski spremenljivki dodeli utež, ki odseva njeno domnevno pomembnost. Utež spremenljivke mora odražati razlike znotraj kategorij v njihovem prispevku v procesu modeliranja. Z množenjem vrednosti kategorije z utežjo definiramo uteženo vrednost za vsako spremenljivko, ki nastopa v procesu modeliranja. Raziskovalčeva (subjektivna) določitev vrednosti ali uteži mora biti utemeljena. Odločitev se v tem primeru lahko nanaša na različne vire: bodisi na predhodna (podobna, primerljiva) arheološka dela bodisi na etnografske, etnološke, zgodovinske ali etnoarheološke raziskave (Dalla Bona 1994). Metoda uteženih vrednosti nam tako omogoča, da v nekem specifičnem modelu, postavimo npr. ekonomske spremenljivke pred geografske, če menimo, da so v dotičnem obdobju in v dotični skupnosti le-te prevladovali. Tak model nedvomno bolje odraža človekov vpliv v smislu lokacije najdišča, vendar pa hkrati ostaja že omenjeni problem subjektivnosti.

3. Primer arheološkega napovedovalnega modela

Za natančen prikaz in diskusijo o tehničnih postopkih izdelave napovedovalnih modelov na tem mestu nimamo dovolj prostora. Zato bi se želeli osredotočiti na prikaz praktične izdelave napovedovalnega modela za bronastodobna najdišča z otoka Brač. Za srednji Jadran in Dalmatinske otoke se v okviru mednarodnega projekta The Adriatic Islands Project že dobro desetletje sistematično izvajajo meritve in zbiranje prostorskih in arheoloških podatkov. Tako danes že razpolagamo z ugledno arheološko bazo podatkov in kakovostnimi prostorskimi podatki (geografsko bazo podatkov) za otok Palagruža, Šolta, Vis, Hvar in Brač. Otoki so takorekoč idealni za izvajanje arheoloških prostorskih analiz, saj je vsak otok zase jasno definirana prostorska entiteta.

Otok Brač je s površino 395 km² in s svojo znano eliptično obliko največji med srednje dalmatinskimi otoki. Po daljši osi, vzhod-zahod, meri 36 km in po krajši 12 km. Tako kot večino dalmatinskih otokov tudi Brač zaznamuje razgiban in mestoma že kar dramatičen relief. Najvišji vrh na otoku, Vidova gora (778 m), je obenem tudi najvišja točka vseh jadranskih otokov. Litološka podlaga je bolj monotona. Večinoma prevladujeta kredni apnenec in dolomit, mehke eocenske nanose lahko najdemo le na manjšem območju ob južni obali, kvartarne nanose pa v večini aluvialnih in kraških dolin. Na slednjih dveh se je razvila tudi najboljša prst. Klima je mediteranska, z milimi zimami in vročimi poletji, vendar različna v primorskem pasu in v notranjosti, kjer je pozimi tudi več padavin. Zaradi mrzlega severnega vetra, je severna obala nekoliko hladnejša. Na višjih legah raste črni bor, na nižjih rdeči bor ali težko prehodna makija. Tam, kjer so tla dobra, so v večji meri tudi obdelana, žal pa je mnogo polj, zaradi depopulacije ob koncu 19-tega stoletja, že prerasla makija.

Delovno področje, na katerem smo razvili napovedovalni model za bronastodobna gradišča, obsega površino slabih 120 km². Na zahodu se začne blizu Vidove gore, na vzhodu pa se konča tam, kjer planota preide v rodovitno dolino Novega Sela in Selc. Južni rob delovnega območja poteka ob obali, in sicer tako, da ni bil odrezan noben njen pomemben kos. Severni rob pa je od severne obale bolj oddaljen. Večina gradišč je namreč locirana na vrhovih gričev v območju visoke planote med vasmi Pražnice in Novo Selo. Na območju te mikroregije, ki predstavlja približno četrtno površine otoka, se nahaja skoraj



Slika 1: Otok Brač, delovno območje in distribucija bronastodobnih gradišč in gomil.

polovica bronastodobnih gradišč in gomil. Delovno območje objame prav tisto področje, ki ga smatramo kot središče bronastodobnih dejavnosti (slika 1). V njem je nastanjenih 9 gradišč in 107 gomil.

Odločili smo se, da analiziramo lociranje bronastodobnih gradišč, zlasti pa razmerja teh najdišč do naravnega in takratnega družbenega okolja. Seveda je potrebno poudariti, da smo pri raziskavah uporabili kot izhodišče podatke o sodobnem naravnem okolju. Prav zato smo morali za vse podatke preveriti kako verno odražajo tudi razmere, ki so vladale v preteklosti. Glede na izkušnje pri sosednjih otokih (Gaffney, Stančič 1991) smo za relief privzeli, da se le-ta ni bistveno spremenil od zadnje poledenitve. V prostorskih analizah ponavadi najpomembnejši podatki o naravnem okolju izhajajo prav iz digitalnega modela višin (DMV). In glede na dramatičnost reliefa na Braču smo prepričani, da je le-ta moral vplivati na poselitvene vzorce in na izrabo zemlje. Iz DMV smo izpeljali vrsto koristnih informacij, kot primer: naklon, lokalni relief, ... in tudi nekaj podatkov o družbenem okolju, kot na primer medsebojna vidnost med gradišči, ki smo jih nato uporabili v analizah in vključili v model. Relevantnosti obstoječih podatkov o vodnih virih in vegetacijskem pokrovu, žal, nismo mogli upravičiti, saj so se že v zadnjem stoletju močno spremenili. Zato smo se na podlagi rezultatov pripravljanih analiz odločili, da jih v analize ne bomo

vključili. Nadalje smo bili mnenja, da so bila za poselitveni vzorec v bronasti dobi ključna tudi tla. Na žalost bi podatke o kvaliteti tal lahko dobili le iz tiskane pedološke karte v za naše analize pregrobem merilu – 1 : 200.000. Odločili smo se, da bomo skušali dobiti informacije o kvaliteti tal iz satelitskega posnetka. Uporabili smo TM posnetek, ki je navzlic mešanemu signalu z vegetacijo, izkazal boljšo kvaliteto kot originalna karta. Glede na primerljive analize spremembe tal skozi daljše obdobje na celini (Shiel in Chapman 1988), ki dokazujejo, da so tla od bronaste dobe naprej doživela mnoge spremembe, smo sklenili, da bomo te podatke uporabljali in obravnavali s kar največjo previdnostjo.

V zvezi z uporabo arheoloških podatkov želimo omeniti nekaj osnovnih izhodišč, ki se tičejo predvsem kvalitete teh podatkov. Nastopi namreč lahko problem s časovno in funkcijsko opredelitvijo posameznega arheološkega vira. Prvo vprašanje se je navezovalo na to, ali so v model zajeta najdišča sploh istodobna? Na celotnem ozemlju Brača je bilo natančno raziskano le eno gradišče in še to leži na zahodnem delu otoka. Zato smo podatke vzorčnih gradišč primerjali z bronastodobnimi najdišči na bližnjih otokih in kopnem ter presodili, da je vseh devet gradišč iz bronaste dobe. Prav tako ni popolnoma razjasnjeno, če so gradišča "živila" istočasno. Vendar bi odgovore na postavljena vprašanja lahko prinesle le natančne arheološke raziskave. Podobna težava se je ponovila pri gomilah. Še zadnja, a nič manj pomembna, težava je funkcijska opredelitev gomil (Marović 1981). Doslej so jim kot najočitnejšo funkcijo pripisali pogreb. Možno pa je tudi, da so gomile predstavljale neko ritualno znamenje (Gaffney, Stančič 1991). Razlike, ki jih zaznamo, če opazujemo posamezna gradišča in okrog njih razporejene gomile, so najverjetneje posledica časovne in funkcijske opredelitve. V okviru naše naloge smo se odločili, da bomo gradišča in gomile obravnavali koeksistenčno, torej tako, kot da so bivala sočasno. Tudi glede funkcijske opredelitve smo se odločili, da naj bi imele vse gomile enako funkcijo, in prav tako, da tudi med posameznimi gradišči ni bilo razlik. Naslednja težava, ki pa se je nanašala na izgradnjo napovedovalnega modela, je majhno število gradišč. V delovnem območju je zajetih le devet gradišč. Zato smo se odločili za metodo, ki je uesteznejša kadar imamo na voljo majhno število najdišč.

Med samo analizo smo trčili še ob problem velikosti najdišč in točnosti, s katero so bila vnešena. Ko smo enkrat določili, da bo resolucija prostorske enote v rasterskem GIS-u 30 x 30 m, smo gomile lahko mirne vesti obravnavali kot točke. Nekaj več težav se je pojavilo pri gradiščih, ki zaobsegajo bistveno večji prostor (tudi nekaj hektarov). Na žalost pa točka, ki je predstavljala gradišče, ni bila vedno centroid ali najvišja točka gradišča; ponekod je bila tudi glavni vhod. Tako smo lahko dobili nenavadne rezultate, npr. da najdišče leži na zelo strmem terenu. To razkritje bo pripomoglo k boljši izbiri in definiranju prostorskih koordinat točke, s katero naj bo gradišče predstavljeno. Mi pa smo se odločili, da tokrat podatkov ne bomo spreminjali, saj bi sicer morali vsako najdišče posebej primerjati s podatki DMV in jih popraviti.

Gradišča imajo obrambni videz utrdbe. Zato so njihovo lokacijo opredeljevali nekateri naravni pogoji, kot na primer vrh hriba, naklon terena, način dostopa... Po drugi strani pa je obstajala tudi vrsta družbenih dejavnikov, ki je prav tako imela vpliv na lokacijo. Ker gradišča odsevajo tudi hierarhično strukturo tedanje poselitve (Marović 1981), je očitno, da so imela gradišča svoje teritorije, ki se med istodobnimi gradišči niso prekrivala; torej so bila postavljena tudi upoštevajoč medsebojno oddaljenost. Ko raziskujemo nova gradišča, seveda pretehtamo in presodimo vse omenjene spremenljivke in še mnoge druge.

Naloga prvega dela študije je testiranje medsebojne odvisnosti med lokacijo gradišča ter nekaterimi naravnimi in socialnimi spremenljivkami. Če bo statistična odvisnost dokazana, bomo spremenljivke lahko uporabili za gradnjo napovedovalnega modela. Najprej torej definiramo, katere spremenljivke so vplivale na lokacijo. Nato vrednosti teh spremenljivk primerjamo z vrednostmi na lokacijah, kjer ni registriranih gradišč. Na podlagi te primerjave definiramo vhodne vrednosti za vse spremenljivke. To vrednost bomo nato uporabili za izdelavo binarnih slojev posameznih spremenljivk. Na koncu bomo uporabljajoč Boolovo logiko, te sloje kombinirali in rezultat bo enostaven lokacijski model za gradišča. Opisano pa tudi predstavlja napovedovalni model za gradišča na Braču. Edina pomanjkljivost te enostavne tehnike je, da vsako spremenljivko obravnavamo posebej in na koncu ne vemo, katera spremenljivka je imela večji vpliv na lokacijo: je bil to teren ali morda bližina rodovitnih tal.

V skupini družbenih spremenljivk smo uporabili štiri dejavnike, ki so po naši presoji vplivali na distribucijo gradišč: medsebojna oddaljenost med gradišči, medsebojna vidnost med gradišči, oddaljenost od obale in oddaljenost od gomil.

Vsako gradišče naj bi imelo svoj ekonomski teritorij. Obstoj naselbine enake hierarhije znotraj tega teritorija je nemogoč. Čeprav bi lahko razdalje med gradišči računali linearno ali z upoštevanjem naklona reliefa, smo se odločili, da zaradi relativno enostavnega terena vzhodnega dela delovnega območja upoštevamo le linearne razdalje med gradišči. Izračunali smo, da je najmanjša razdalja med dvema gradiščema 1600 m, kar pomeni, da je posamezno gradišče imelo vsaj 800 m ekskluzivne cone.

Predvidevamo, da so bila gradišča postavljena tako, da so lahko nadzorovala svoje teritorije in ostala gradišča. Postavili smo torej hipotezo, da so gradišča postavljena na lokacijah, s katerih se vidi tudi ostale. Testiranje je bilo enostavno. Izvedli smo analize vidnosti z vsakega gradišča posebej in dobljene vidne površine iz gradišč zložili skupaj. Tako smo dobili t.i. kumulativno vidnost gradišč, kjer se lokaciji, ki je vidna iz več gradišč, pripiše sorazmerno višja vrednost. Analiza je pokazala, da se gradišča pojavljajo na lokacijah vidnih iz več drugih gradišč. Povprečno so vse lokacije delovnega območja vidne z 1,2 gradišča, lokacije gradišč pa so bile vidne iz 3,9 gradišč. Hipoteza je bila torej dokazana, kar nam obeta, da bo ta spremenljivka dobra napovedovalka lokacij gradišč.

Kot kaže so vsa bronastodobna gradišča precej oddaljena od obale. Glavni vzrok pa je verjetno večja varnost. Razdaljo od obale lahko testiramo z enakimi postopki kot smo računali razdalje med gradišči. Medtem, ko je povprečna oddaljenost od obale za celo delovno območje približno 2300 m, se je za gradišča pokazalo, da so od obale oddaljena povprečno za 3200 m. Z algoritmi, ki upoštevajo naklon terana smo izračunali, da so vse lokacije delovnega območja povprečno od obale oddaljene 3 ure hoda, medtem ko bi do lokacij gradišč povprečno hodili kar štiri ure in pol.

Med terenskim delom smo opazili, da se gomile pogosto pojavljajo na določeni razdalji od gradišč. Tako smo za vsako gomilo v delovnem območju izračunali koliko so vse točke delovnega območja oddaljene od gomile. Tako izračunane razdalje smo nato sešteli za vse gomile in izdelali nekakšen gravitacijski model gomil. Ko smo opazovali lokacije gradišč v tem gravitacijskem modelu, smo ugotovili, da se gradišča običajno pojavljajo na neki omejeni razdalji od gomil, pa vendarle ne preblizu.

Podatki naravnega okolja za katere smo se odločili, da jih bomo uporabili pri oblikovanju napovedovalnega modela so: nagib terena, greben/dolina indeks, rob indeks in

nižji relief indeks.

Naklon je enostavna spremenljivka, ki definira kako strmo se teren spušča oziroma dviga. Predvidevali smo, da so gradišča na ne preveč strmem terenu. Povprečen naklon na delovnem področju je 17 %, naklon na lokacijah gradišč pa kar 20 %. Kaže, da so bile koordinate nekaterih gradišč merjene na obzidju in ne v središču gradišča. Za te lokacije je bila strmina napačno izračunana. Vendar, kot že omenjeno, smo se odločili, da koordinat gradišč ne bomo spreminjali in tako nadaljevali modeliranje.

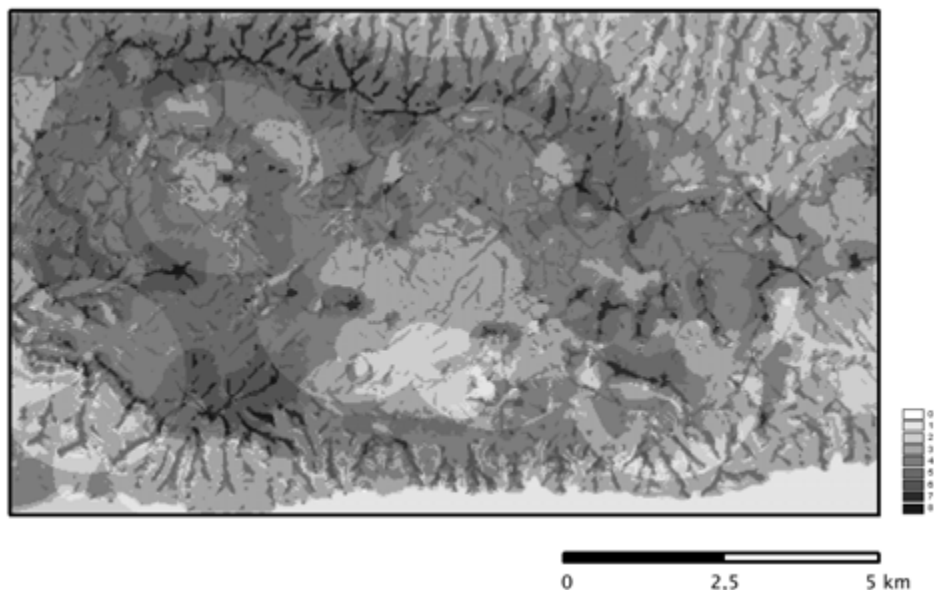
Preostale tri spremenljivke vse izhajajo iz DMV in skušajo kvantificirati značilno lokacijo za gradišča. Greben/dolina indeks (Kvamme 1992b) pravzaprav računa "vidni kot" na vsaki lokaciji. Kadar je vidni kot na dotični lokaciji manjši od 180°, je ta lokacija bolj dolinska, če je vidni kot večji od 180°, je lokacija grebenska, ko pa se približa 360°, je lokacija na vrhu hriba. Rob indeks je izračun volumna, ki ga določa določena razdalja od centralne točke. Če je točka na vrhu ali na robu (npr. stene) bo imela večji indeks kot točka, ki je v dolini. In nazadnje, nižji relief indeks je kazalec višinskih razlik v okolici dane točke. Hitreje, ko se relief spušča z določene točke, višja vrednost se bo pripisala tej točki. Kombinacija vseh treh vrednosti nam daje odlično predstavo o naravnem okolju lokacije gradišča. Če upoštevamo vse te spremenljivke (dejavnike), med drugim tudi majhen naklon, potem lokacija na vrhu hriba predstavlja zadosti primerno zemljišče, da bi bilo tam moč postavljati hiše.

Na koncu smo želeli preveriti še odnos med tlemi in lokacijami gradišč. Razpoložljivost dobrih tal, ki omogočajo kmetijstvo, je v distribuciji naselbin pomemben, omejitveni faktor. Na Braču so dobra tla predvsem v kraških in aluvialnih dolinah. Postavili smo hipotezo, da ima vsako gradišče znotraj svojega vplivnega območja (800 metrska cona) tudi nekaj dobrih tal. Ker so tako tla kot vegetacija dejavnika, podvržena spremembam in ker nismo uspeli razviti dovolj kvalitetne informacijske podlage tal, ki bi nam z zadostno mero utemeljila povezanost lokacije gradišč in kakovosti tal, smo se odločili, da v nadaljevanju ne bomo uporabili te spremenljivke.

Na tem mestu nimamo dovolj prostora, da bi podali vse statistične argumente za uporabo posameznih spremenljivk v enostavnem napovedovalnem modelu. Potem, ko smo vsako spremenljivko testirali in dokazali, da vpliva na distribucijo gradišč, smo s prekrivanjem binarnim slojev vseh spremenljivk dobili napovedovalni model za gradišča. Rezultat prekrivanj je bil nov informacijski sloj z atributnimi vrednostmi od 0 do 8. Več zahtev je bilo na dotični lokaciji izpolnjenih, večjo atributno vrednost ima lokacija. Kjer je torej vrednost 0, praktično ni konvencionalnih pogojev za obstoj gradišča. Lokacije z visoko vrednostjo atributa lahko interpretiramo kot privlačne za morebitni obstoj neodkritih gradišč. Rezultat napovedovalnega modela je prikazan na sliki 2. Učinek tega modela je zadovoljiv. Vsa znana gradišča so v pasu, kjer je verjetnost za obstoj gradišča največja. Skupno območje z najvišjo verjetnostjo zavzema le 0.22 % celotnega delovnega območja, kar je izredno dober rezultat. Pri tem ne smemo prezreti, da je nekaj predvidenih območij manjših od 1000 m², kar je seveda premalo za takšen kompleks kot je gradišče. Če torej upoštevamo še to omejitev, ostane le še prgišče potencialnih lokacij, ki jih na terenu zlahka preverimo.

4. Sklep

Arheološki napovedovalni modeli so izredno koristen pripomoček za upravljanje



Slika 2: Napovedovalni model za gradišča, pridobljen s postopkom Boolovih prekrivanj osmih družbenih in naravnih spremenljivk.

in varovanje kulturne dediščine, hkrati pa postajajo tudi uveljavljena tehnika preverjanja arheoloških lokacijskih hipotez. Kritična presoja rezultatov, predvsem pa dosledno preverjanje rezultatov v naravi bosta odločili v kolikšni meri je arheološki napovedovalni model lahko kvaliteten in ob kakšnih pogojih je lahko kvaliteten ter zato tudi uporaben. Prikazana tehnika izdelave napovedovalnih modelov je enostavna in pregledna. Primerna je za uporabo tudi na manjših vzorcih. Njena največja pomanjkljivost je v tem, da nam ne poda možnosti preverjanja razmerij in pomena posameznih spremenljivk. V primeru, ko bi želeli dobiti vpogled v pomembnost spremenljivk, ki vplivajo na lokacije najdišč, pa bi morali uporabiti tehnike večvariantne statistike.

Literatura in viri

- Allen, K.M., Green, S.W., Zubrow, E.B.W. (ur.) 1990: *Interpreting Space: GIS and Archaeology*. Taylor&Francis. London.
- Dalla Bonna, L. 1994: *Cultural heritage resource predictive modeling project, Volume 3, Methodological considerations*. Centre for Archaeological Resource Prediction, Lakehead University. Thunder Bay.
- Gaffney, V., Stančič, Z. 1991: *GIS approaches to regional analyses: A case study of the island of Hvar*. Znanstveni institut filozofske fakultete. Ljubljana.
- Judge, W., Sebastian, L. (ur.) 1988a: *Quantifying the present and predicting the past: Theory, method and application of archaeological predictive modeling*. U.S. Government Printing Office. Washington, D.C.
- Judge, W., Sebastian L. (ur.) 1988b: *Quantifying the present and predicting the past: Correlation, explanation and the use of archaeological models*, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.

- Kohler, T.A. 1988: *Predictive locational modeling: history and current practise. Quantifying the present and predicting the past.* U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Kvamme, K.L. 1992a: *A predictive site location model on High Plains: An example with an independent test.* *Plains Anthropologist* 37 (138).
- Kvamme, K.L. 1992b: *Terrain form analyses of archaeological location through geographic information systems.* Lock, G., Moffet, J. (ur.), *Computer applications and quantitative methods in archaeology, British Archaeological Reports International Series* 577.
- Kvamme, K.L. 1997: *Ranters corner: Bringing the camps together: GIS and ED.* *Archaeological Computing Newsletter* 47.
- van Leusen, P.M. 1995: *GIS and archaeological resource management: a European agenda.* Lock, G., Stančić, Z. (ur.), *Archaeology and GIS: A European Perspective.* Taylor&Francis. London.
- van Leusen, P.M. 1996: *GIS and locational modeling in Dutch Archaeology: A review of current approaches. New Methods, Old Problems: GIS in modern archaeological research,* Maschner, H.D.G. (ed.), *Center for Archaeological Investigations, Occasional Paper No. 23, Southern Illinois University.*
- Lock, G., Stančić, Z. (ur.) 1995: *GIS and archaeology: a European perspective.* Taylor&Francis. London.
- Marović, I. 1981: *Prilozi poznavanju brončanog doba u Dalmaciji.* *Vjesnik za arheologiju i historiju dalmatinsku* 75.
- Marović, I., Nikolanci, M., 1968-1969: *Četiri groba iz nekropole u Vičjoj luci (o. Brač) pronađena u 1908 god.* *Vjesnik za arheologiju i historiju dalmatinsku* 70-71.
- Shiel, R., Chapman, J.C. 1988: *The extent of change in the agricultural landscape of Dalmatia, Yugoslavia, as a result of 7000 years of land management.* Chapman, J., Bintliff, J., Gaffney, V., Slapšak, B. (ur.), *Recent developments in Yugoslav archaeology, British Archaeological Reports International Series* 431.
- Warren, R. 1990: *Predictive modeling of archaeological site location: A case study in the Midwest.* *Interpreting Space: GIS and Archaeology.* Taylor&Francis. London.

UPORABNOST GIS-ANALIZE V URBANIZMU IN PROSTORSKEM PLANIRANJU TER USKLAJEVANJE KARTOGRAFSKIH BAZ PODATKOV ZA PREKMEJNO SODELOVANJE

Daniel Jarc
Urbanistični inštitut RS
Jamova 18, Ljubljana
djarc@tmedia.it

Izvleček

UDK 711.4:659.2:91

V prispevku obravnavamo nekatere primere usklajevanja slovenskih in italijanskih kartografskih osnov na obmejnem območju. Sledi prikaz in kritično razmišljanje o uporabnosti GIS-tehnologije v urbanizmu in prostorskem planiranju ter možnosti, ki jih ponujajo nekatera tako rastrska kot vektorska programska orodja. Upoštevamo tudi možne uporabe satelitskih posnetkov v prostorskem raziskovanju v primeru njihove vse večje ločljivosti.

Ključne besede: GIS, Gis-analiza, urbanizem, prostorsko planiranje, prekmejno sodelovanje

Abstract

UDC 711.4:659.2:91

GIS-analysis applicability in the urban-spatial planning and a connection of the cartographic data basis for the crossborder cooperation

The paper discuss some examples of connectivity between Slovene and Italian cartographic digital basis in cross-border areas. Afterwards we describe the availability of GIS technology and explain the use of raster and vector program tools in urban and spatial planning. In addition we take into consideration the opportunity of using the satellite images in spatial researches in case of their always better resolution.

Key words: GIS, GIS-analysis, urban planning, spatial planning, crossborder cooperation

1. Uvod

S pospeševanjem evropskih integracijskih procesov bo nujno prišlo do vedno večjih zahtev po izmenjavi podatkov in informacij na meddržavni, medregijski in prekmejni ravni. Obenem pa taka zahteva spada tudi v okvir splošnih trendov sodobne postindustrialne oziroma informacijske družbe, kar seveda odpira nove poglede in spodbuja nove problematike na področju prostorske organizacije in usmerjanja človeških dejavnosti. Tako je razvijanje informacijskih omrežij in usklajevanje obstoječih in novih podatkovnih baz iz različnih služb in zavodov postalo posebej zanimivo interesno in raziskovalno področje urbanizma ter prostorskega planiranja.

Tudi urbanistična in planerska praksa se poslužujeta prostorskih podatkovnih baz, čeprav si tehnologija GIS-ov s težavo utrjuje pot na tem področju vsaj v našem bližnjem okolju. Urbanisti se še vedno v mnogih primerih poslužujejo analognih kartografskih osnov, ker so v veliki meri odvisni od tehnološke opremljenosti in znanja naročnikov oziroma lokalnih uprav, s katerimi sodelujejo. V najboljšem primeru uporabljajo vektorske digitalne osnove, ker so zaenkrat najbolj kakovostne ponudbe kartografskih služb. Poleg tega je načrtovanje in prostorska organizacija ter vizualizacija predlaganih posegov ali usmerjevalnih politik njihov glavni namen, za kar so vektorska programska orodja najbolj primerna.

Povsem nove možnosti predvsem na področju prostorskega raziskovanja se pojavljajo z metodami in tehnologijo daljinskega zaznavanja oziroma s satelitskimi posnetki. Čeprav

so taki posnetki dostopni za uporabo prostorskega planiranja že vsaj nekaj desetletij, postaja le v zadnjih letih njihova uporabnost veliko večja, predvsem zaradi stalnega izboljšanja njihove ločljivosti in večje ponudbe na tržišču. V tem okviru postanejo zanimiva za področje prostorskega opazovanja, vrednotenja in modeliranja.

2. Glavna normativna izhodišča

Pravna ureditev na področju GIS-ov in na področju digitalnih kartografskih osnov planiranja je v Italiji pretežno v pristojnosti posameznih dežel. Razvojno stanje tega področja je zato različno od primera do primera vendar, razen nekaterih izjem, so na splošno GIS-i v lokalnih upravah zelo malo razširjeni. Osnovni razlog je nezadostno tehnično znanje upravnega osebja in zaenkrat omejena uporabnost GIS-ov v urbanistični in upravni praksi. Če usmerimo pozornost na sosednjo deželo Furlanijo-Julijsko Krajino, je osrednji pravni inštrument na tem področju deželni zakon št. 63/1991 z dodatnimi dopolnili. Gre za zakon, ki določa pravila izvajanja, obdelave in oddajanja kartografskih in prostorskih podatkov za uporabo prostorskega planiranja in raziskovanja. Temu je sledil leta 1993 odlok za pripravo načrta deželnega kartografskega sistema. Slednji dokument precej natančno opiše vse zahtevane tehnične sestavine digitalnih kartografskih osnov, način njihove uporabe in oblike vzajemne vključitve javnih uprav na vseh ravneh načrta. Še posebno zanimiv je člen o tematskih kartah, v katerem je določeno, da je treba digitalizirati obsejo karto rabe tal, ki je bila izdelana na podlagi satelitskih posnetkov Landsat 5. Posebno poglavje je namenjeno spodbujanju možnih projektov za obdelavo satelitskih posnetkov, ki dobijo finančno podporo Evropske skupnosti (npr. načrt za karto prekrivanja tal imenovan CORINE). Poleg tega poglavje št. 1.4.2. določa, da mora biti deželna digitalna kartografija usklajena z upravnim informacijskim sistemom ASCOT, z upravnim deželnim informacijskim sistemom SIER in z ostalimi javnimi podatkovnimi bazami, ki uporabljajo podatkovni standard DBMS.

V Sloveniji ni zakona, ki bi bil namenjen izključno urejanju področja geografskih informacijskih sistemov ali kartografskih digitalnih podatkov. Delno je ta problematika zajeta v Zakonu o varstvu okolja, kjer se izrecno omenja informacijski sistem varstva okolja in monitoring naravnih pojavov. Na splošno pa je izdelava vseh kartografskih osnov v pristojnosti geodetske službe. V zakonu o geodetski dejavnosti pa niso obravnavani informacijski sistemi in le v poglavju o geodetskih podatkih je omenjena možnost njihovega izdajanja tudi v digitalni obliki. Vse področje bo urejeno s posebnimi vladnimi uredbami. In ne nazadnje tudi zakon o državni statistiki vsebuje nekatere omenbe o možnosti uporabe metod daljinskega zaznavanja v zvezi z zbiranjem podatkov.

Seveda podobni zakoni obstajajo tudi v italijanskem pravosodnem sistemu in k temu gre dodati še mnoge druge, npr. zakon o avtorskih pravicah, o varstvu individualnih podatkov itd., ki tako ali drugače obravnavajo na splošno informacije in podatke tudi v digitalni obliki.

3. Dva primera usklajevanja digitalnih kartografskih osnov

V okviru doktorske naloge, ki je sicer obravnavala teoretsko razsežnost napovedovanja prihodnosti in problematiko integracije Gorice in Nove Gorice, smo poskušali uskladiti italijanske in slovenske digitalizirane kartografske osnove. Uporabili smo vektorske karte deželnega urada Furlanije-Julijske Krajine in rastrske karte Geodetskega urada.



Slika 1: Usklajevanje vektorskih in rastrskih digitalnih kartografskih kart v primeru obmejnega urbanega območja Gorice in Nove Gorice.

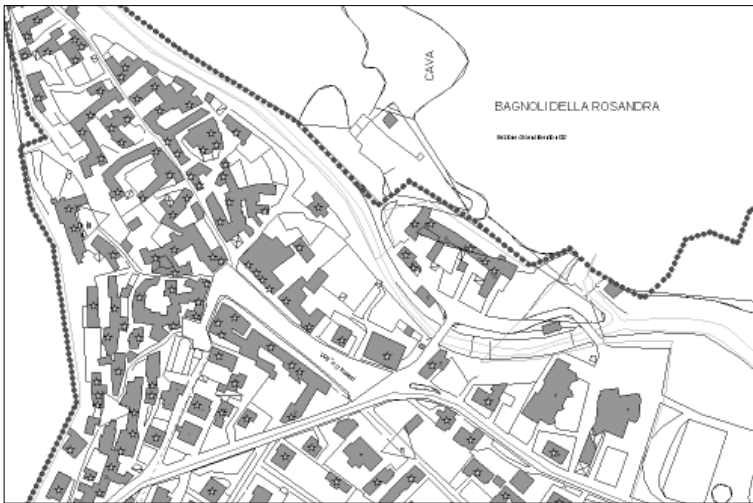
Oba kartografska vira sta bila v merilu 1 : 25.000. Ker smo nalogo izvajali z vektorskim računalniškim programom (Mapinfo), smo kot geokodirano osnovo uporabili karte deželnega kartografskega urada in smo zato morali najprej pretvoriti rastrske karte Geodeskega urada v vektorske različice. Razpolagali smo s štirimi sloji topografske karte, od katerih smo vektorsko pretvorili le tri (grajene površine, prometne infrastrukture in relief terena). Najboljši rezultat, vsekakor nezadovoljiv, smo dosegli pri pretvorbi reliefa, medtem ko je bila pretvorba ostalih dveh slojev precej nenatančna predvsem zaradi nejasnega ali napačnega razbiranja robov območij (slika 1).

Kljub temu smo se odločili, da bomo izkoristili dosežene rezultate, kajti glavni namen priprave take kartografske osnove je bila vizualizacija nekaterih scenarijev urbanega razvoja, za kar je bila raven natančnosti povsem nepomembna. Zato smo vektorizirano karto dodatno popravili in jo prilagodili drugi bolj točni deželni kartografski osnovi. Sloj grajenega območja pa smo na novo "prerisali" oziroma vektorsko digitalizirali na podlagi rastrske osnove.

Drugi primer usklajevanja kartografskih osnov smo izvedli v povsem drugačnih okoliščinah. Spadalo je v okvir širše naloge, ki je imela predvsem cilj razporediti hišne številke v naseljih občine Dolina (slika 2).

Obenem se je pojavila priložnost za poskusno izvedbo prototipa GIS-a, ki naj bi usklajal matične podatke občanov Doline z njihovimi geokodiranimi hišnimi številkami. V tem okviru smo v končnem delu naloge preizkusili možnosti usklajevanja digitaliziranih kart italijanskega katastra s topografskimi kartami dežele Furlanije-Juljske Krajine. Na tak način smo nameravali pripraviti osnove za razvoj GIS-a na ravni omenjene lokalne skupnosti. Vendar, ker so bili doseženi rezultati usklajevanja preveč povprečni, naloga ni imela zaželenega nadaljevanja.

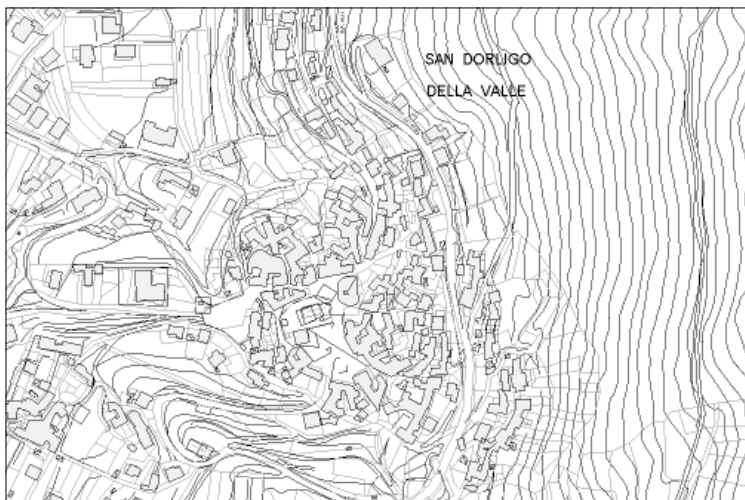
Prva težava pri poskusu usklajevanja obeh kart je bilo razbiranje podatkovnega formata NTF, ki ga italijanski kataster uporablja za oddajanje kartografskih podatkov zunanjim



Slika 2: Prototip GIS-a občine Dolina pri Trstu.

odjemalcem.

NTF je ASCII format v standardu ISO 646, ki ga izvorno uporablja angleški Ordnance Survey in je zelo malo razširjen med običajnimi uporabniki osebnih računalnikov v Italiji. Poleg tega je bil italijanski kataster digitaliziran pred kratkim in še ne v celoti. V primerjavi z deželno kartografijo ni ažuriran, čeprav njihovi delovni programi potekajo v tej smeri. Skratka poleg nekompatibilnosti podatkovnih formatov obstaja precejšnja neusklajenost tudi v posodabljanju kartografskih podatkov in bo treba še nekaj časa počakati, da bodo



Slika 3: Primer poskusnega usklajevanja digitalnih kartografskih osnov dežele Furlanije-Julijske Krajine in italijanskega Državnega Katastra (Boljunec v občini Dolina pri Trstu).

uskklajene katastrsko-topografske karte uporabne v urbanistični praksi.

4. Od vektorskih do rastrskih podatkovnih modelov

Rasterski podatkovni modeli so z razliko od vektorskih veliko bolj uporabni za prostorske površinske analize (Kvamme et al. 1997). V ta namen jih uporabljajo verjetno največ v fizični geografiji in na splošno v znanostih o okolju. Rasterski programi so namreč bolj primerni za znanstveno opazovanje prostora, medtem ko so vektorski pretežno orodja načrtovanja.

Z analogijo bi lahko vektorsko karto primerjali risbi, medtem ko je rastrska veliko bolj podobna fotografskemu dokumentu. Risba je abstrakcija, pomenski in subjektivni pogled na prostor, medtem ko je dokumentarna fotografija čimbolj verodostojna, razpoznavna in objektivna podoba prostora. Informativna vrednost vektorske karte je odvisna od količine in kakovosti na karto nanešenih ali narisanih podatkov, natančnost rastrske karte pa je odvisna od resolucije ali ločljivosti slike in torej od zmogljivosti senzorjev itd. Vendar na splošno je razvojna težnja na tržišču GIS-ov usmerjena k izdelovanju in dograjevanju programov, ki obdelujejo tako ene kot druge podatkovne modele.

Tudi za uporabo planiranja in načrtovanja se zdi najbolj učinkovita usklajena raba obeh programskih tipologij, čeprav nedvomno prevladujejo še vedno vektorski podatkovni modeli.

Bistvena zmogljivost in možnost vektorskih programov je predvsem obdelava katastrskih podatkovnih baz. Prostorski plan je namreč zgrajen z upoštevanjem tako zemljiške lastnine kot morfologije prostora in rabe tal. Poleg tega je parcela osnovna prostorska enota tudi vsakega arhitektonskega načrtovanja in osnovni lokacijski člen upravljanja s prostorom. Še posebno zanimiva v tem okviru je zamisel mnogonamenskega katastra oziroma digitalnega zemljiškega informacijskega sistema (Kvamme et al. 1997). Tak informacijski sistem bi dopuščal usklajeno uporabo nekaterih podatkovnih baz (iz geodetskega in statističnega urada, katastra zemljišč in stavb, komunalnih uradov itd.), ki spadajo tako ali drugače v okvir analitičnih podlag planiranja.

Osnovna kapaciteta rastrskih programov pa je branje in obdelava posnetkov daljinskega zaznavanja in seveda celičnih podatkovnih modelov, ki so mnogokrat izpeljani iz slednjih. V tem primeru je celica osnovna prostorska enota, ki seveda nima realnega fizičnega vzorca v prostoru, saj je prostor namišljeno razčlenjen z mrežasto celično strukturo. Od velikosti celice je pač odvisna ločljivost rastrske podobe. Ker je celica abstraktna prostorska enota, nima v nasprotju s parcelo tiste zakonsko pravne veljavnosti, ki jo zahtevajo urbanistični in gradbeni akti. Nasprotno pa je mnogo bolj primerna za oblikovanje prostorskih modelov in za številne prostorske površinske analize.

5. Analitična orodja GIS-ov

Analitična zmogljivost GIS-ov dopušča številne možnosti, poleg seveda programskega pisanja novih modulov prilagojenih posameznim, posebnim potrebam. Poizvedovanje baz podatkov je gotovo osnovno analitično orodje tako rastrskih kot vektorskih GIS-ov. Vsaka karta je namreč baza digitalnih (numeričnih) podatkov in informacij oziroma podatkovni model, ki je lahko tudi prikazan v enostavni ali kompleksni tabelarni obliki. Poizvedovanje je usmerjeno na lokacijo - npr. katera raba tal je na tej lokaciji? - ali na atribut - npr. katera območja imajo najvišjo gostoto pozidave? V mnogih primerih, ko je poizvedovanje bolj

Select/From - izvaja selekcijo enega ali več atributov (tudi uporabljajoč določene agregatne funkcije: min, max, sum itd.) iz določene tabele oziroma karte. Osnovna sintaksa je :
SELECT *polje* FROM *tabela*

Where - izvaja selekcijo na podlagi določenega pogoja z uporabo tako relacijskih (>, <, =, >=, <=, <>) kot logičnih operacij (AND, OR, NOT). Osnovna sintaksa je:
WHERE *pogoj iskanja*

Order/By - ureja selekcijo na podlagi rastočih (ASC) ali padajočih (DESC) operacij. Osnovna sintaksa je:
ORDER BY *polje* <*Body text*>

Update/Set - spremeni karto na podlagi izbora, ki izhaja iz določene matematične operacije. Osnovna sintaksa je:
UPDATE *karta* SET *polje* = *matematična operacija*

Preglednica 1: Osnovni ukazi jezika SQL (Eastman 1995).

zapleteno, razstavimo postopek na osnovne sestavine in ga izvršujemo v zaporedju. Pri tem razpolagamo z mnogimi matematičnimi in logičnimi operacijami.

Izredno zmogljivo orodje poizvedovanja je strukturni poizvedovalni jezik SQL (Structured Query Language). Ta je standarden manipulacijski jezik za relacijske baze podatkov, na podlagi katerega uspemo ustvariti popolnoma novo digitalno karto izhajajoč iz razpolaganih kart. Jezik združuje poivedovalne, manipulacijske, definicijske in kontrolne funkcije v celoto (preglednica 1).

S poizvedovanjem prostorskih baz podatkov lahko izvedemo precejšen del osnovnih operacij selekcije in sinteze, ki so v običajni rabi v planiranju. Posedbo hitro in natančno je povpraševanje o zadostitvi prostorskih standardov, zmogljivosti območij in pragov. Če npr. razpolagamo z karto naseljenosti prebivalcev po mestnih okrajih ali drugih prostorskih enotah in z karto urbane rabe tal, postane enostavno zračunanje neto gostote stanovanjske rabe tal (karto naseljenosti delimo z karto stanovanjske rabe). Ravno tako lahko zračunamo pravzaprav vsaki prostorski kazalec in lahko v trenutku poizvemo o odstotku ali količini določene rabe na zbranem območju.

5.1. Algebra karte

Skupina orodij, ki jo običajno imenujemo algebro karte, dopušča splet, usklajevanje in manipulacijo podatkovnih slojev oziroma kart. Uporabljamo jo v rastrskih podatkovnih modelih. Razpolagamo s tremi vrstami operacij:

- aritmetično spreminjanje prostorskih entitetnih atributov s konstantnimi vrednostmi;
- matematično spreminjanje prostorskih entitetnih atributov s standardnimi operacijami (trigonometričnimi, logaritmičnimi funkcijami itd.);
- matematično sestavljanje različnih slojev podatkovnega modela (seštevanje, odštevanje, množenje, deljenje itd.).

V urbanizmu lahko izkoristimo algebro karte v nekaterih postopkih upravljanja urbanih zemljišč in naravnih virov (računanje vrednosti zemljišč, primernosti lokacije zemljišč za zazidavo ali za katero koli drugo rabo itd.). Izvajamo lahko selekcijo območij s tem, da spreminjamo vrednost njihovih celic in naraščanje območij s tem, da spreminjamo vrednost njihovih robov.

Nekatere rastrske programe (Grass) uspešno uporabljajo v hidroloških simulacijah, v računanju drenažnih zmogljivosti terena in v določanju poplavnih območij. Ravno tako lahko določene operacije algebre karte izkoristimo za vrednotenje klimatskega stanja v urbanih območjih in za ocenjevanje onesnaženja vode v naseljih.

5.2. Operacije razdalje

Z operacijami razdalje računamo in prikažemo radije dostopnosti in območja vplivnosti. Lahko npr. tudi poiščemo razdaljo vseh lokacij, ki so najbližja območjem z določenimi izbranimi značilnostmi. Prikažemo in ugotavljamo predlagane razvojne potencialne pragove in ocenjujemo lastnosti lokacije v odnosu do bližnjega prostorskega konteksta. Temu lahko sledi tudi oblikovanje karte, na katero prilagodimo lokacijsko politiko poslovnih dejavnosti.

Zanimiva je tudi uporaba operacij razdalje v analizah omrežnih podatkov, ki postane posebno učinkovita pri načrtovanju infrastruktur. S tem v zvezi nekateri programski moduli rastrskih GIS-ov omogočajo računanje relativnih stroškov premikanja skozi vsako celico. Vrednost stroškov je zabeležena na tako imenovani "površini trenja" ali "ploskvi upora". Vrednost upora je lahko neodvisna od smeri premikanja (izotropni upor) ali pa je od nje odvisna (neizotropski upor), v obeh primerih obstaja programsko orodje za preračunavanje stroškov, ki so lahko izraženi v denarni, časovni ali drugi enoti.

5.3. Operacije konteksta

Z operacijami konteksta vsaka celica v zaključni karti nosi vrednost celice iz izhodiščne karte skupno z vrednostmi njene bližnje okolice. Uporabljamo jih v rastrskih podatkovnih modelih. Najbolj poznane analize iz tega področja so površinske analize na podlagi digitalnih modelov reliefa. Drugi primeri operacij konteksta so digitalni filtri, ki spreminjajo vrednosti celice na podlagi značilnosti njene okolice. Na podoben način lahko določamo ali razberemo celične poligone na zbranem območju. Take operacije nam omogočajo analize krajinske pestrosti, raznolikosti in fragmentarnosti. Čeprav so bile slednje analize oblikovane predvsem za preučevanje krajinske strukture in so postala analitična orodja krajinske ekologije, menimo, da so lahko zanimive tudi v urbanističnih morfoloških analizah, saj ocenjevanje razčlenjenosti rabe tal in teksture grajenega prostora ter ugotavljanje tipološke raznovrstnosti urbanih območij spadajo v okvir novih zahtev po funkcionalno mešani rabi urbanih centrov. Treba bo le prilagoditi orodja novi uporabi.

Kvantitativne analize krajinske ali urbane strukture obravnavajo prostor kot ploskovito karto in različni prostorski podatki postanejo podatki o ploskvah (o ploskovnih robovih, središčih) različnih vrst: moteče ploskve, ostanki ploskev, ploskve naravnih virov, enostavne ploskve itd. Ploskve pomenijo tudi različne rabe tal in različne prostorske elemente ter se razlikujejo tudi po starosti (npr. krajinska območja, ki so jih komaj prizadele poplave ali požari, so mlajše generacije, medtem ko je lahko starost območja v urbanem okolju povezana s stopnjo njegove degradacije itd.; preglednica 2).

Različne meritve krajinske (ali urbane) fragmentarnosti so objektivna osnova za

| TIP | MERILO | ENOTA MERJENJA KRAJINE |
|---------------------|--------|--|
| Območje | P | območje ploskve (m ² , ha) |
| | R | razred območja (ha, % krajine) |
| | R/K | celotno območje krajine (ha) |
| Ploskev | R/K | število ploskev |
| | R/K | glavna velikost ploskve (ha) |
| Rob | P | obseg (m) |
| | R/K | celotna dolžina robov (m) |
| | R/K | primerjalna teža gostote robov (m/ha) |
| Oblika | P | kazalec oblike |
| | P | fraktalna dimenzija |
| | R/K | glavni kazalec oblike |
| | R/K | glavna ploskovno fraktalna dimenzija |
| Osrečje območja | P | osrčje območja (ha) |
| | R | osrčje območja kot % krajine |
| | R/K | celotno osrčje območij (ha) |
| | R(K | glavno osrčje območij na ploskev (ha) |
| Najbližje sosedstvo | P | razdalja do najbližjega sosedstva (m) |
| | P | kazalec neposredne bližine |
| | R/K | glavna razdalja do najbližjega sosedstva (m) |
| Različnost | K | obilnost ploskev |
| Okuženje | R/K | pomešanje in mejitev (%) |
| | K | kazalec okuženja (%) |

Preglednica 2: Primer nekaterih možnih meritev prostorske strukture v programih FRAG-STAT ali r.le programih (Grass). Začetnice v merilu pomenijo sledeče: P ploskev, R razred, K krajina (Theobald, 1998).

opis krajine in menimo tudi urbanih območij. Določajo stopnjo heterogenosti območja in so primerni za komparacijo med različnimi krajinskimi oziroma urbanih vzorci tudi v različnih časovnih presledkih.

Nenazadnje operacije konteksta omogočajo tudi tako imenovane analize vidnosti, s katerimi vrednotimo kakovost pogledov, vedut in panoramik npr. določene turistične poti itd.

5.4. Statistične operacije

Na rastrskem podatkovnem modelu je možno izvesti tudi običajne statistične analize. Možno je na primer določiti regresijsko krivuljo, regresijsko tabelo, indeks korelacije in izvesti nekatere ocene vzorcev na osnovi dveh digitalnih kart. Regresijski analizi podobna komparativna tehnika, ki pa zahteva kvalitativne podatke, je križanje kart. Rezultat tega postopka je tabela, ki prikaže pogostost vseh možnih kombinacij različnih kategorij v primerjanih kartah.

Možna pomembna statistična operacija je tudi trendna analiza. Gre za postopek, ki

preračuna relacijo med vrednostjo celic in njihovim položajem v podobi. Uporabljamo jo tudi, ko želimo določiti, če je opazen pomembnejši prostorski trend vrednostih atributov neke karte ali podobe.

Opisane statistične analize so že uveljavljene kvantitativne metode prostorskega planiranja. GIS-i pripomorejo le k jasnejšemu prikazu rezultatov v obliki karte.

5.5. Operacije v podporo odločanja

V rastrskih podatkovnih bazah je možno tudi izvesti nekatere analize, ki pomagajo pri odločanju o različnih alternativah (v zvezi s političnimi odločitvami, lokacijami itd.). Mnogokrat je zato potrebno uporabiti številne kriterije vrednotenja. V ta namen uporabimo več-kriterijsko vrednotenje, ki je sestavni modul nekaterih rastrskih GIS-ov (Idrisi). Prav tako se večkrat zgodi, da mora odločanje zadostiti številnim ciljem, ki so lahko med sabo komplementarni ali konfliktni. V podporo takemu odločanju je primeren postopek več-ciljnega vrednotenja.

Vsako odločanje ima tudi stopnjo negotovosti. Zato se med pričujočimi operacijami štejejo tudi nekateri postopki osnovani na teorijah verjetnosti, ki poskušajo ublažiti negotovosti.

5.6. Prostorski monitoring in priprava osnovnih geografskih podatkovnih baz

Tehnološka orodja GIS-a in daljinskega zaznavanja so zelo učinkovita podpora prostorskega monitoringa, ki je namenjen spremljanju urbanizacije in prostorskega razvoja. Spremljanje sedanjega stanja pa je osnova usmerjenja prihodnjega razvoja. S tem v zvezi običajen in najbolj primeren prikaz fizičnega prostora je karta sedanje rabe tal oziroma karta prekrivanja tal. Že samo oblikovanje takih kart lahko imamo za prvo stopnjo prostorskega monitoringa oziroma za osnovo nadaljnega dograjevanja opazovalnega (informacijskega) sistema. Naslednji korak je namreč spremljanje socioekonomskih dejavnosti in okolja. V tem primeru je ključnega pomena oblikovanje primernih tako razvojnih ali socioekonomskih kot okoljskih kazalcev.

Ključni kazalci na splošno sledijo načelom različnih prostorskih paradigem ali politikam in so usmerjeni določenemu namenu (npr. okoljski kazalci, kazalci prostorske kakovosti, trajnostni kazalci). Njihov osnovni cilj pa je vsekakor merjenje prostorskega stanja in trendov. Njihovo periodično monitoriranje je pogoj za učinkovitost opazovalnega sistema.

Nato postane pomembno vprašanje usklajevanje modela fizičnega prostora s ključnimi kazalci in v tem okviru pravzaprav njihova vizualizacija. Saj so rezultati analize in razbranje ter pridobivanje novih informacij odvisni tudi od načina prikazovanja kazalcev.

V ta namen obstaja v prostorskem raziskovanju bogata tradicija tematskih kart. Uporaba tovrstnih kart je pomembna osnova GIS-ov, saj je vsaka vizualizacija podatkov in informacij pravzaprav tematska karta. Njihovo bolj ali manj kompleksno sestavo skupno z osnovnimi bazami podatkov (dvo- in tri-dimenzionalnimi) pa običajno imenujemo kartografski model. Dopolnilne informacije takega sistema so lahko tudi fotografije, video-posnetki, grafikon, teksti, animacije. V tem primeru govorimo o multimedialnem kartografskem modelu.

5.7. Digitalne obdelave podob in karte urbane rabe tal

V urbanizmu in prostorskem planiranju uporabljajo posnetke daljinskega zaznavanja

pretežno za nekatere raziskave fizičnega prostora in okolja. Za rabo prostorskega planiranja je klasifikacija različnih terenskih vzorcev najbolj zanimiva uporaba digitalne obdelave podob (satelitskih posnetkov). To je pravzaprav temeljni postopek, s katerim izdelamo karto trenutne rabe tal z obdelavo satelitskega posnetka. Rasterski GIS-i razpolagajo z dvema vrstama klasifikacije: nadzorovano in nenadzorovano. V prvem primeru ugotavljamo kategorije celic na podlagi primerjanja s testnim območjem, v drugem primeru jih določamo s statistično analizo najverjetnejše skupine (Kvamme et al. 1997).

Klasifikacijo sestavljajo nekateri nivoji podrobnosti, ki so neposredno povezani z ločljivostjo posnetka oziroma z njegovim merilom. Tako s posnetki v merilu do 1 : 250.000 uspemo razločiti le kategorije iz prvega nivoja podobe, s posnetki v merilu do 1 : 80.000 razbiramo drugi nivo klasifikacije, medtem ko je tretji nivo razviden z merilom med 1 : 80.000 do 1 : 20.000. Z nižjimi merili dosežemo še podrobnejšo klasifikacijo in v primeru razreda stanovanjskih območij se poslužujemo tudi stanovanjske gostote. V prikazanem primeru najbolj detajlno razvrščanje stanovanjske rabe tal razčlenjuje območja enodružinskih ali večdružinskih stanovanj. Razvrščanje na tem nivoju poteka tako, da položimo mrežo kvadratov 10 x 10 ha na rastrsko karto obravnavanega območja in preštejemo število enot v vsakem kvadratu. Končne rezultate delimo z 10 in dobimo stanovanjsko gostoto oziroma število stanovanjskih enot na ha (SEH).

V številnih virih (npr. Pesaresi 1996; Wilkinson 1996) lahko zasledimo, da bo v prihodnjem kratkoročnem obdobju pravi naval satelitskih posnetkov, kar bo gotovo vplivalo na nižanje njihove nakupne cene. Istočasno se bo ločljivost satelitskih posnetkov znatno izboljšala. V kratkem bodo namreč na tržišču posnetki z ločljivostjo 4, 3 in celo 1 m, kar pomeni razpolagati z kartami v merilu manjšem od 1 : 5000. Podrobnejše karte bodo imele veliko večjo uporabnost tudi v urbanizmu. Klasifikacije rabe tal bodo detajlnejše in možnost razbiranja tudi manjših objektov bo omogočala podrobnejše tipološke in lokacijske analize urbanih območij.

Sodeč po tem, kar pišejo nekateri avtorji (Paulsson 1992), je dober razlog za uporabo satelitskih posnetkov tudi konkurenčnost cene, če jo primerjamo npr. s ceno letalskih posnetkov. V primerjavi s ceno digitalne kartografije, pa je ta v Sloveniji še vedno znatno nižja. Drugačno razmerje je v Furlaniji-Juljski Krajini, kjer se nakup satelitskih posnetkov glede na ceno digitalne kartografije izplača, vendar ostaja še vedno velika razlika v kakovosti podobe (doseženi ločljivosti). Seveda se nakup ne izplača, če dodamo cenam satelitskih posnetkov še stroške njihove predobdelave.

Velike prednosti uporabe satelitskih posnetkov v urbanizmu in prostorskem planiranju pa so: geometrijska točnost podatkov, informacijska bogatost ali pestrost posnetkov, relativno hitro spreminjanje in obdelava podatkov s hitrim ustvarjanjem tematskih kart, možnost usklajevanja z ostalimi podatkovnimi viri oziroma podatkovnimi bazami in seveda enostavna ažurnost podatkov.

Usklajeni sistem satelitskih posnetkov in GIS tehnologije pa omogoča številne prostorske analize, med katerimi vrednotenje scenarijev urbanega razvoja, planiranje prometnih omrežij in infrastruktur, coniranje okolja in omejevanje tveganja pred nevarnimi naravnimi pojavi (npr. poplavami). Ne nazadnje gre v tem okviru omeniti nekatere trende razvoja na področju prostorskega modeliranja in simulacije. S tem mislimo predvsem na prostorske celične avtomate. To je področje ki vključuje GIS-tehnologijo z znanostjo o umetni inteligenci in je pravzaprav še na pionirski ravni. Vendar ima že prve poskusne

| 1. NIVO | 2. NIVO | 3. NIVO |
|----------------------------|-------------------------|---|
| urbano ali grajeno območje | stanovanjsko območje | posamezna enota, nizka gostota (manj kot 2 SEH*) posamezna enota, srednja gostota (med 2 in 6 SEH) posamezna enota, visoka gostota (nad 6 SEH) mobilne stanovanjske enote večstanovanjske enote, nizka porast (2 skupini ali manj) večstanovanjske enote, visoka porast (3 skupine ali več) mešano stanovanjsko območje |
| | trgovina in storitve | prodajalne na drobno in storitve prodajalne na debelo in storitve (vključeno z menjalnimi trgovinami in skladišči) uradi in profesionalne storitve hoteli kultura in prosti čas mešano komercialne dejavnosti in storitve |
| | industrija | lahka industrija težka industrija rudarstvo industrija v gradnji |
| | prometna območja | letališča, vključeno z vzletnimi progami, parkirišči, hangarji in terminali železnice, vključeno s postajami in terminali avtobusni terminali večje in hitre ceste pristaniške strukture parkirne strukture (ki niso neposredno vezane na drugo rabo tal) |
| | komunikacije in usluge | energetske strukture (elektrika in plin) vodovodne naprave (vključeno z črpalnimi napravami) kanalizacijske in odvodne naprave odlagališča smeti in deponije |
| | ustanove | vzgojne storitve, vključeno z zavodi, univerzami, visokimi in osnovnimi šolami verske ustanove, vključeno s šolami zdravstvene ustanove in zdravilišča zapori in poboljševalnice vojaške ustanove vladne in upravne ustanove |
| | prosti čas | pokopališča igrišča golfa parki in živalski vrtovi marine stadioni, sejmišča in dirkališča mešana raba |
| | odprti prostor in drugo | nerazvite površine v urbanih območjih površine v sedanjem razvoju; namenjena uporaba neznana |

*Preglednica 3: Primer klasifikacije urbane rabe tal (*SHE - stanovanjska enota na hektar; Sabins 1986).*

| | | |
|---|------------|------------------------|
| Vektorska digitalna kartografija v Furlaniji-Julijski Krajini | 1 : 25.000 | 83 SIT/km ² |
| Rastrska digitalna kartografija v Sloveniji | 1 : 25.000 | 10 SIT/km ² |
| Satelitski posnetek (Landsat TM, brez predobdelave) | 1 : 80.000 | 32 SIT/km ² |

Preglednica 4: Primerjanje cen digitalnih podatkov.

amplikacije tudi na prostorskem področju. Nekateri strokovnjaki so izdelali zanimive prototipe računalniških programov, ki simulirajo določeno obnašanje v prostoru na podlagi zbranih pravil. Taki ekspertni sistemi npr. prikažejo razvoj urbanizacije zbranega področja na podlagi nekaterih parametrov kot so lahko lokacije avtocest, železnic itd. Druge primere imamo na področju distribucije trgovinskih dejavnosti, ocenjevanja okoljskih vplivov itd. Čeprav bi tema prostorskih ekspertnih sistemov zahtevala posebno obravnavo, lahko nekaj več o tem zvemo na nekaterih zanimivih internet straneh, ki so podane v literaturi in iz preglednega članka Wilkinsona (1996).

6. Sklep

Postopno bližanje Slovenije k Evropi bo zahtevalo oblikovanje zakonskih podlag ali dogovorjenih pravil tudi na področju upravljanja, obdelave in izmenjave bodočih geokodiranih baz podatkov. Kljub težavam bo usklajevanje takih podatkovnih baz zadovoljivo, če bo dosežena vsaj stopnja primerljivosti. Na tej podlagi bo možna primerjava različnih naselitvenih vzorcev in urbanizacije s končnim namenom prekmernega planiranja in upravljanja predvsem velikih in malih infrastruktur, odlagališč odpadkov, čistilnih naprav itd.

Možnost, ki jo v tem okviru ponuja obdelava satelitskih posnetkov, je predvsem razpolaganje z enotno osnovo, daljinsko sliko, ki je informacijsko bogata in natančna podoba fizičnega prostora. Osnovna pogoja njene uporabe sta seveda znižanje cen posnetkov, njihova vse večja razpoložljivost in izboljšanje njihove ločljivosti. Gledano s precejšnjim optimizmom, se v to smer pomika prihodnja tržna ponudba satelitskih posnetkov.

Večje razpolaganje s takimi podatkovnimi osnovami bi omogočalo več možnosti za relativno hitro izdelavo tako vektorskih tematskih kartografij, kot tudi rastrskih podatkovnih manipulacij. V praksi pa bi bili satelitski posnetki tudi osnova prostorskega opazovalnega sistema. Njihovo vključenje v GIS in povezovanje s prostorskimi kazalci bi tvorilo učinkoviti sistem spremljanja in ocenjevanja prostorskega razvoja.

Poleg tega so analitična orodja GIS-ov tudi učinkovito sredstvo v podporo prostorskemu in urbanističnemu upravljanju. Njihova fleksibilnost in hitra uporabnost lahko služi za pripravo primernih podlag bodočega strateškega planiranja in urbanističnega načrtovanja. Posebno vznemirljiva pa je razsežnost, ki jo odpira usklajena uporaba vektorskih in rastrskih podatkovnih modelov. Če temu pridružimo še zamisel mnogonamenskega katastra, multimedialnih kartografskih modelov in celičnih avtomatov, si upamo trditi, da bi lahko urbanist, planer, prostorski upravljalec prihodnosti razpolagal sicer z virtualno vendar zelo verodostojno podobo realnosti, ki bi lahko bila simulacijski prostor odločanja o najbolj ustreznih prostorskih posegih. Ne gre namreč pozabiti, da sta plan in urbanistični načrt ne le pravno-normativna akta upravljanja s prostorom, ampak tudi simulaciji. Zato pričakujemo, da bodo vektorske kartografske digitalne osnove gotovo ostale trdna podlaga prostorskih analiz, čeprav bomo kmalu razpolagali z ogromno količino podatkov daljins-

kega zaznavanja, ki bodo odprle nove in še neznane možnosti prostorskemu raziskovanju še posebno z razvojem virtualne realnosti in simulacijske tehnologije.

Literatura in viri

Eastman, R.J., 1995: *Idrisi for Windows. User's Guide*. Worcester.

Jarc, D. 1998: *Raziskovanja prihodnosti v planiranju. Doktorska disertacija, Fakulteta za arhitekturo*. Ljubljana.

Jarc, D., Jogan, I., 1996: *Sistema informativo del Comune di Dolina. Relazione terza fase, Občina Dolina pri Trstu*.

Kvamme, K., Oštir-Sedej, K., Stančič, Z., Šumrada, R., 1997: *Geografski informacijski sistemi*. ZRC SAZU. Ljubljana.

La carta tecnica regionale numerica e sistema informativo territoriale: lo stato dell'arte, 1996. *Atti del convegno, Università' di Udine*. Udine.

Neteler, M., 1998: *Introduction to GRASS GIS software*. Hannover.

Paulsson, B., 1992: *Urban Applications of Satellite Remote Sensing and GIS Analysis*. The World Bank. Washington.

Pesaresi, M., 1996: *Il diluvio di immagini. Dati satellitari: modi e prospettive di analisi territoriale*. *Urbanistica*, št. 106.

Sabins, F.F., 1986: *Remote Sensing, Principles and Interpretation*. W.H. Freeman and Company. New York.

Sartore, M., 1996: *Census e Ita: due fonti complementari per l'analisi delle forme dell'urbanizzazione*. *Urbanistica*, št. 106.

Theobald, D.M., 1998: *Tools Available for Measuring Habitat Fragmentation*. *Natural Resource Ecology Lab, Colorado State University* (<http://www.nrel.colostate.edu:8080/>).

Triglav, J., 1996: *Geomatika, mozaik merskih metod*. Tehniška založba Slovenije. Ljubljana.

Wilkinson, G.G., 1996: *A review of current issues in the integration of GIS and remote sensing data*. *International Journal of Geographic Information System*, vol. 10, n. 1.

Internet strani

Canada Centre for Remote Sensing Home page: <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/>

Eurimage scril: <http://www.eurimage.it/>

SPOT image: <http://www.spotimage.fr/>

Space imaging Europe: <http://www.spaceimaging.com/>

Santa Fe Institut: <http://www.santafe.edu/>

Cellular Automata Repository: <http://ginevra.usr.dsi.unimi.it/>

Artificial life: <http://alife.santafe.edu/alife/>

GIS V PROCESU NAČRTOVANJA CEST

Nenad Čuš Babič, dr. Danijel Rebolj in Lucija Hanžič

Center za gradbeno informatiko

Univerza v Mariboru

Fakulteta za gradbeništvo

Smetanova 17, Maribor

nenad@computer.org

Izvleček

UDK 625.7:659.2:91

V Centru za gradbeno informatiko (CGI) Fakultete za Gradbeništvo se ukvarjamo s produktnimi modeli gradbenih objektov. V produktnih modelih vidimo ključ za integracijo posameznih, sedaj med seboj slabo povezanih aktivnosti življenjskega cikla gradbenega objekta. Pri tem smo se osredotočili predvsem na področje cest. Izgradnja ceste vsekakor predstavlja obsežen poseg v prostor. Zato je tudi pomen prostorskih podatkov v posameznih fazah izgradnje zelo velik. V CGI smo izdelali tudi prototip aplikacije, ki izkorišča prednosti uporabe modela ceste in tako omogoča enostaven prenos podatkov o cesti med posameznimi fazami. Aplikacija je sestavljena iz posameznih modulov, ki pokrivajo različne faze življenjskega cikla ceste. Med drugim so to: modul za določitev osi in koridorja ceste, modul za spremljanje odkupa zemljišč, modul za izračun in prikaz vpliva emisij in imisij zaradi izgradnje ceste in podobno. Kljub različnim vidikom izgradnje ceste, ki jih ti moduli pokrivajo, jih je večina podprtih s komponentno usmerjenim ESRI MapObjects geografskim informacijskim sistemom. V članku opisujemo Programsko okolje za spremljanje življenjskega cikla ceste RO in na praktičnih primerih prikazujemo kako smo s pomočjo uporabe komponentne tehnologije integrirali GIS v posamezne module.

Ključne besede: konstrukcija objektov, modeli, ceste

Abstract

UDC 625.7:659.2:91

GIS in the process of road planning

In Civil Engineering Informatics Centre at the Faculty of Civil Engineering, we are engaged in product models of construction objects. In product models, we see the key for integration of individual objects construction life cycle activities, which are now weakly connected. Working on it, we have been focusing specially in the road design field. Construction of a road is great interference into the environment. Therefore, spatial data are very important in separate phases of the process. In our Centre we developed prototype of application which exploits road model advances in data transfer among particular life cycle phases. It is consisted of several modules, which covers different phases of the road construction. For example: corridor definition, land acquisition support, emission calculation. In spite of quite different aspects of road design covered by these modules, almost all of them are supported with component-based ESRI MapObjects geographic information system. In this article, we describe our Road lifecycle software environment (RO). Through examples, we show abilities and advantages of component technology use concerning GIS integration into functional modules.

Key words: object construction, models, roads

1. Uvod

Sodobni geografski informacijski sistemi (GIS) postajajo vse kompleksnejši. Nji-

hova funkcionalnost v mnogih primerih v veliki meri presega domeno "geografije" in je tesno povezana z različnimi inženirskimi, ekonomskimi in drugimi področji. V mnogih primerih so obstoječi računalniški programi (= informacijski sistemi) navezani na GIS da bi obogatili svojo uporabnost s prostorskimi informacijami in funkcijami, ali pa se novi programi že načrtujejo kot "podprti z GIS-om". V obeh primerih je zaželeno načrtovati in implementirati ciljni informacijski sistem s standardnimi metodami in orodji. Kadar želimo v ta namen uporabiti konvencionalna okolja za izgradnjo GIS-ov pa običajno naletimo na težave:

- večina okolij za razvoj GIS aplikacij ponuja specializirane nestandardne proceduralne jezike (kot na primer AML, SML, Avenue, MapInfo basic itd.),
- aplikacijo je možno uporabljati le v okolju in ob podpori GIS sistema, v katerem je bila izdelana; na vsakem računalniku, kjer želimo aplikacijo uporabljati, je torej treba najprej instalirati osnovni GIS,
- pogosto nastopajo težave pri prenosu aplikacij na druge operacijske sisteme,
- GIS funkcij ne moremo uporabljati neposredno v standardnih programskih jezikih na enostaven in učinkovit način,
- znotraj posamezne aplikacije ne moremo enostavno uporabljati prostorskih podatkovnih baz različnih proizvajalcev.

Vse našete ovire seveda ne nastopajo v vsakem okolju za razvoj GIS-ov (oz. z GIS funkcijami podprtih aplikacij), vendar je praviloma prisotna vsaj ena izmed njih. Zato poizkusi, da bi funkcionalno nadgradili GIS, praviloma vodijo k nehomogenim sistemom z moduli, napisanimi v najmanj dveh popolnoma raznovrstnih programskih jezikih, kar je razvidno tudi iz mnogih člankov in poročil (glej Bao 1995, Rebolj 1995 in Zura 1991).

Današnji razvoj programske opreme vse bolj temelji na komponentni tehnologiji in objektni usmerjenosti. Ta trend se odraža tudi v hitrem razvoju standardov s tega področja. Na področju CASE orodij se vse bolj uveljavlja UML kot privzet standard. Object Management Group razvija obsežen standard o komponentah Object Management Architecture (OMA), ki bo vseboval revidiran CORBA standard. Vključeval bo specifikacije za medsebojno komunikacijo komponent različnih proizvajalcev. Tudi glavni proizvajalci programske opreme in orodij se vse bolj usmerjajo v komponentno tehnologijo (glej Hines 1998 in Kiely 1998).

Pri razvoju okolja za spremljanje življenjskega cikla ceste (RO) smo upoštevali sodobne usmeritve na področju razvoja programske opreme. Programska oprema za podporo izgradnji cest v glavnem zahteva tudi vključitev GIS funkcionalnosti. Objekten razvoj in komponentna tehnologija sta nam omogočila njeno učinkovito in preprosto vključitev.

2. Koncept učinkovitejšega GIS-podprtega okolja

Komponentna tehnologija je način izdelave programske opreme, pri katerem je glavni cilj izdelava programa iz neodvisnih in ponovno uporabnih programskih komponent. Komponente uporabljamo prek natančno definirane vmesnika, notranja zgradba komponent pa nas ne zanima. Programer od komponente pričakuje predpisano funkcionalnost, ki jo doseže prek vmesnika komponente. Ker se do funkcionalnosti komponent dostopa le prek njihovega vmesnika, so lahko izdelane v kateremkoli programskem jeziku. Programer pa jih lahko uporablja v razvojnem okolju v katerem običajno dela.

Tako smo pri izbiri GIS-a s katerim smo podprli našo aplikacijo iskali komponentno zasnovan GIS. Rešitev smo našli pri ESRI-ju, ki ponuja MapObjects. MapObjects je množica programskih komponent, ki programerju omogoča uporabo kart v svojih programih. Osnovna ideja MapObjects je v tem, da kompleksno okolje GIS-a razdeli na komponente. Programer te komponente nato uporabi pri izgradnji svoje aplikacije, pri tem pa uporabi le tiste komponente, ki vsebujejo funkcionalnosti, ki jih resnično potrebuje.

Prednosti, ki nam jih je tak pristop ponudil so naslednje.

- Uporaba splošnega programskega jezika. V našem primeru smo uporabili Visual Basic.
- Učinkovita integracija GIS in RDBMS funkcionalnosti.
- Zmožnost izdelave majhnih specializiranih programskih modulov, ki vsebujejo le funkcije, ki jih uporabnik zares potrebuje.
- Zmanjšanje stroškov delovnega mesta, saj za izvajanje programa uporabnik ne potrebuje instaliranega celotnega GIS okolja.

3. Arhitektura Ro

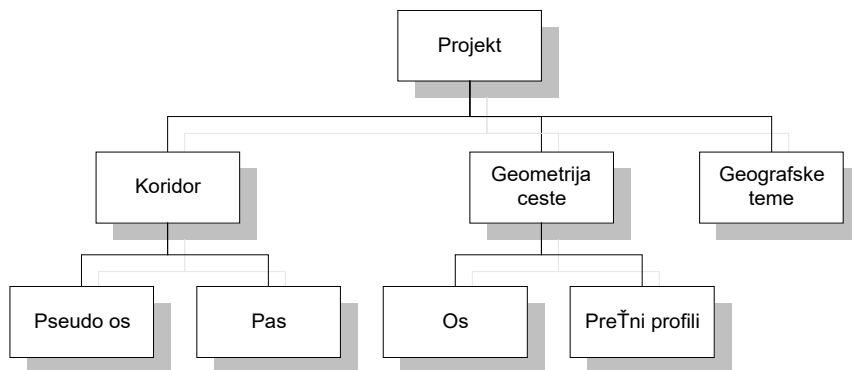
3.1. Model ceste

Tudi za tlorisni prikaz osi ceste lahko rečemo, da je model ceste. Vendar tak prikaz predstavlja le izsek iz celotne strukture. O integriranem modelu objekta pa lahko govorimo šele tedaj, ko vključuje vse bistvene komponente objekta in povezave med njimi. Marsikateri CAD program za ceste vključuje vse potrebne komponente, vendar so povezave med njimi skrite v programu samem in ne v modelu - ali pa jih v računalniku sploh ni in jih ustvari človek v svojem umu. Seveda lahko model ceste definiramo širše ali ožje - odvisno od faze življenjskega cikla oz. aspekta, s katerega cesto opazujemo. V fazi priprave zemljišča je lahko bistvena komponenta modela poligon, ki predstavlja obod cestnega telesa, v fazi izgradnje je to tehnologija, vezana na določeno aktivnost v terminskem planu gradnje, za vrednotenje investicije so pomembni ekonomski vplivi, za ugotavljanje vplivov na okolje pa prometni tok.

Model cestnega telesa (MCT) izhaja iz faze geometrijskega načrtovanja, saj je geometrija osnovna lastnost in funkcija ceste. Model je objektno zasnovan in odprt, kar nam omogoča postopno dopolnjevanje z elementi, ki so potrebni v drugih fazah življenjskega cikla. Da bi omogočili največjo možno kompatibilnost z razširjenimi računalniškimi programi, smo ohranili temeljno strukturo modela, ki izhaja iz konvencionalnega postopka načrtovanja cest.

Povezujoč element v strukturi modela je *projekt*, ki vsebuje glavne informacije o projektu ceste, kakor tudi ključne atribute za ostale dele strukture (slika 1). Celoten model je definiran tako, da omogoča dodajanje in spreminjanje posameznih segmentov, ne da bi pri tem vplivali na preostale dele strukture.

Koridor je preprosta struktura, ki definira možne meje znotraj katerih lahko poteka cesta. Pomemben je v zgodnji fazi življenjskega cikla ceste, ko izbiramo najprimernejši cestni koridor in izdelamo prvo aproksimacijo cestne osi. Koridor se nato uporablja v fazi definiranja cestne geometrije (projektiranje ceste), saj določa področje načrtovanja. Ko je geometrija ceste določena, nam koridor predstavlja zunanje meje opazovanega področja.



Slika 1: Osnovna zgradba produktnega modela ceste.

Geometrija ceste predstavlja osrednji del modela in vsebuje opise osi in prečnih profilov.

Cesta je del geografije in zato lahko smatramo *koridor* in *geometrijo ceste* tudi kot del geografskega informacijskega sistema (GIS) ali kot njegove tematske komponente. Po drugi strani pa so prostorski podatki v obliki *geografskih tem* (ali plasti) potrebni v mnogih fazah v življenjskem ciklu ceste. Iz teh razlogov je v modelu zagotovljena povezava z geografskimi temami.

Opisani model cestnega telesa je osnova integriranega programskega Okolja za podporo življenjskega cikla ceste RO (r). RO smo razvili z namenom, da bi integrirali podatkovne strukture obstoječih računalniških programov za podporo posameznih faz življenjskega cikla v enoten informacijski tok. Temelj tega toka je prav model ceste MCT, ki zagotavlja, da se pri prenosu podatkov med fazami ne izgubljajo informacije o objektu (slika 1).

3.2. Arhitektura

RO smo zasnovali kot komponentno usmerjen informacijski sistem, temelječ na principu delovanja odjemalec - strežnik s fleksibilno in modularno strukturo.

Programski objekti in metode (funkcije), ki so na razpolago uporabniku, so razporejeni v tri različne dele sistema:

- definicije glavnih objektov so združene v kompaktnem *jedru RO* - jedro je povezano s sistemsko bazo podatkov in z zunanjimi metodami, ki jih izvajajo funkcionalni strežniki,
- atributne in prostorske podatkovne strukture so definirane v sistemski podatkovni bazi, ki sestoji iz dveh glavnih delov: *atributnega dela* (relacijski sistem za upravljanje s podatkovno bazo) in *geografskega dela* (sistem prostorske podatkovne baze),
- večina metod je ločena od sistemskih enot v zunanje module - *funkcionalne strežnike*, kar omogoča veliko fleksibilnost in preprosto dograjevanje funkcionalnosti sistema.

Funkcionalni strežniki imajo neposreden dostop do RO podatkovne baze (slika 2). Odrpna komponentno usmerjena arhitektura okolja RO omogoča dodajanje in/ali spreminjanje metod (funkcij sistema) ne da bi pri tem vplivali na preostale dele sistema. Menimo,

| | | | |
|--|-------|-----------------|-----|
| RO | | | |
| Funkcionalni moduli (koridor, odkup zemljišč...) | | | |
| RDBMS | | Prostorska baza | |
| Atributivni podatki | shape | cover | SDE |

Slika 2: RO arhitektura.

da lahko z enostavnim dodajanjem novih funkcionalnih strežnikov ali z vključevanjem obstoječih programov (npr. RDS sistemov), postopoma pokrijemo vse naloge v življenjskem ciklu ceste.

Doslej smo izdelali nekaj osnovnih in nekaj posebnih metod v obliki komponent, ki podpirajo naslednje funkcije:

- definicija koridorja,
- spremljanje odkupa zemljišč,
- izračun emisij škodljivih snovi in
- hitra 3D vizualizacija.

Takšna arhitektura nam omogoča ustrezno prilagoditev konfiguracije okolja potrebam uporabnika.

4. Implementacija

Za razvoj aplikacij smo uporabili MS Visual Studio, ki ga v našem centru tudi drugače praviloma uporabljamo za razvoj programske opreme. Vizualno programersko okolje nam omogoča hiter razvoj prototipov. Iz teh prototipov pa nato v sodelovanju z uporabniki finaliziramo aplikacijo. Večina programerskega dela je opravljena v Visual Basicu. Nekateri deli aplikacije pa so zaradi zahtev po hitrosti izdelani v C++.

Medsebojna neodvisnost programskih modulov je razvidna iz arhitekture. Module lahko uporabljamo kot samostojne Windows aplikacije, kakor tudi v povezavi z drugimi moduli v skupni aplikaciji.

Podpora GIS-a je vgrajena v vseh modulih razen v modulu za 3D vizualizacijo. To podporo smo zagotovili s komponentami ESRI MapObjects. Osrednja komponenta MapObjects je digitalna karta. Izdelana je kot standardna Active X komponenta in jo kot tako lahko tudi uporabljamo, podobno kot gumbe, menuje, vnosna polja in podobno.

Z nekaj preprostimi kliki z miško dodamo karto na standardno Windows formo. V razvojnem okolju lahko karti določimo različne lastnosti in definiramo, katere tematske plasti se bodo v času izvajanja prikazale na karti. Vse lastnosti lahko preprosto spreminjamo tudi v programski kodi. Na karti lahko prikažemo več tematskih plasti. Te pa so lahko različnega tipa, kot npr. točke, polilinije ali poligoni. Na karto lahko dodamo tudi bitne slike, kot so zračni posnetki, ki jih uporabimo za ozadje. Za tematske plasti komponenta podpira ARC/INFO cover format in ESRI Shape format datotek. S pomočjo Spatial Database Engine (SDE) pa se lahko tudi priključimo na prostorsko podatkovno bazo na Unix strežniku. Digitalna karta nam omogoča funkcionalnosti kot so zumiranje in premikanje

karte takorekoč brez programiranja.

Prek karte lahko s pomočjo drugih objektov, ki jih zajemajo MapObjects, posamezne tematske plasti tudi spreminjamo ali kreiramo nove. Omogočena je grafična in SQL izbira prikazanih elementov, tiskanje karte in še mnogo drugih funkcij. Kot lahko vidimo, je to zelo uporabna komponenta. Ko takšno komponento vključimo v svoj program, enostavno vse te funkcionalnosti postanejo del naše aplikacije.

Pri našem delu smo se trudili slediti objektno usmerjenemu razvoju kolikor nam je to Visual Basic dopuščal. Za posamezne funkcije, kot so definicija koridorja ali izbira parcel, smo izdelali razrede v katere smo ogradili podatke in metode. Program ima zato takšno strukturo, da so posamezni deli med seboj kolikor je le mogoče neodvisni.

5. Opisi modulov

5.1. Koridor

S tem modulom lahko prikazujemo različne tematske plasti in to z različnimi uporabniško določenimi barvami. Preučujemo in izrišemo lahko posamezne attribute in geografske zanačilnosti. Osnovni namen modula je definicija psevdo osi in koridorja ceste. Uporabnik lahko psevdo os nariše, shranjuje, popravlja in dodaja nove točke na os in podobno.

Izdelali smo algoritem za generiranje pasu enakomerne širine. Ta pas imenujemo koridor. Meje koridorja lahko ročno popravljamo, točke lahko dodajamo ali brišemo. Lahko pa tudi celoten koridor kar sami, ročno narišemo.

5.2. Odkup parcel

Namen modula je spremljanje odkupa parcel. Modul upošteva vidik investitorja, ki nadzoruje spremljanje odkupa, kakor tudi vidik izvajalca, ki odkup izvaja. Postopek odkupa parcel je primer, kjer uporaba GIS-a ni prvotnega pomena. Glavne funkcije modula, kot so spremljanje dogodkov v zvezi z odkupi in priprava pogodb in drugih dokumentov bazirajo predvsem na relacijski bazi. V tem primeru nam GIS le omogoča boljši pregled nad podatki.

Kot v modulu Koridor, lahko tudi tukaj prikazujemo različne tematske plasti in preučujemo njihove attribute. Omogočeno pa je še prostorsko in atributivno iskanje in izbiranje posameznih elementov.

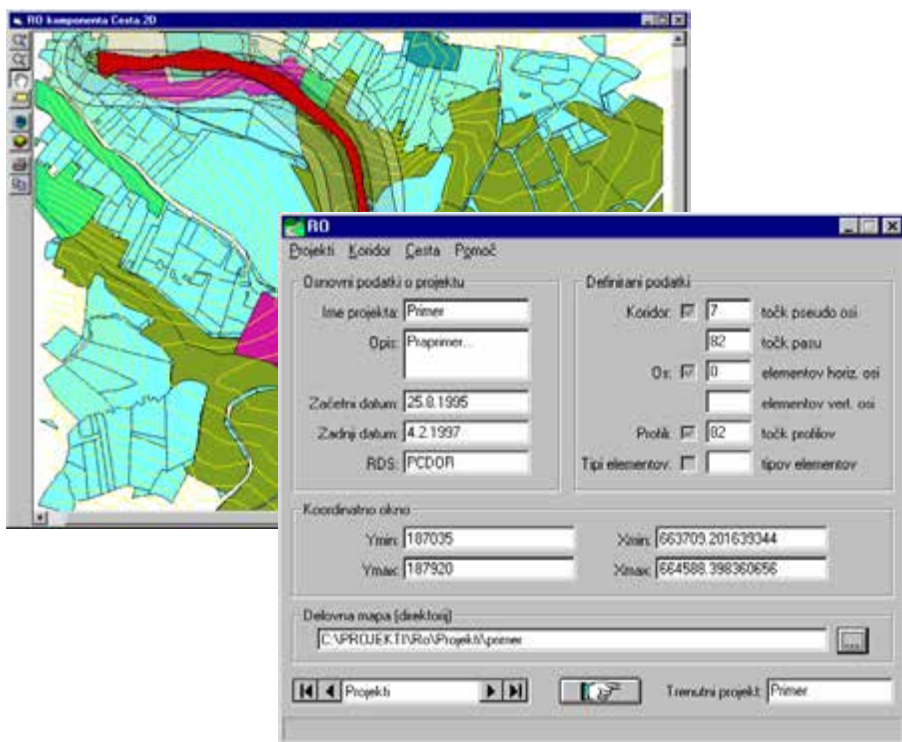
Funkcija, ki zasluži posebno pozornost je prekrivanje parcel z urbanistično določeno mejo za odkup in iskanje prekritih delov. Ta funkcija vrne dele parcel, ki so prekrivane s cesto in njej pripadajočimi deli.

5.3. Analiza emisij

Zadnje čase je pri vsaki industrijski aktivnosti ekološki vidik vedno pomembnejši. To nas je vodilo k izdelavi modula za izračun emisij, ki jih bo bodoča cesta povzročila. Rezultati teh analiz so ogromne in nepregledne tabele s številkami. Namen GIS podpore v tem modulu je vizualizacija teh podatkov. Rezultati iz tabel so prikazani kot pas okoli osi (slika 3).

6. Sklep

Okolje za spremljanje življenjskega cikla ceste (RO) smo v Centru za gradbeno infor-



Slika 3: Primer vizualizacije analize emisij.

matiko razvili z namenom povezati obstoječo programsko opremo za podporo posameznim fazam življenjskega cikla v enoten informacijski tok. Razvoj okolja RO logično sledi razvoju modela cestnega telesa (MCT), ki je osnova za takšno integracijo. Do sedaj smo izdelali nekaj osnovnih in nekaj posebnih metod v obliki programskih komponent. V naše okolje RO je mogoče vključiti tudi aplikacije drugih neodvisnih razvijalcev, kot je npr. programska oprema za načrtovanje cest.

V procesu izdelave takšnega odprtega okolja se je izkazalo, da je uporaba objektno usmerjenega razvoja in komponentne tehnologije v veliko pomoč. Skoraj vsak modul, ki smo ga izdelali ima vgrajeno GIS podporo. Prek primerov je razvidno, kako lahko komponentno zasnovan GIS, kot je ESRI MapObjects, učinkovito zagotovi reševanje problemov v aplikacijah, kjer je GIS podpora osnovnega pomena, kakor tudi v aplikacijah kjer je GIS samo pomožna funkcija. Pri slednjem nam komponentna tehnologija omogoča učinkovito in enostavno integracijo GIS funkcionalnosti z relacijsko podatkovno bazo in aplikacijo GIS-a na področju vizualizacije podatkov.

V bodoče bomo okolje RO razvijali v smeri internet aplikacije. Tudi pri tem nam bo komponentna tehnologija v veliko pomoč. V ta namen že testiramo ESRI MapObjects Internet Server in njegove komponente.

Na koncu še omenimo, da proizvajalci GIS programske opreme napovedujejo, da bodo tudi klasična GIS okolja kot je npr. ESRI ARC/INFO na voljo v obliki komponent.

Literatura in viri

- Hines, J. 1998: *Technology 1998 analyses and forecast: Software engineering*. IEEE Spectrum, vol. 35, num. 1.
- Kiely, D. 1998: *Are components the future of software?* IEEE Computer, vol. 31, num. 2.
- Bao, S. 1995: *A regional analysis system integrated with Arc/Info*. Computer, Environment and Urban Systems, vol. 19, num. 1.
- Rebolj, D. 1995: *Integrated road design and evaluation environment*. Computing in Civil and Building Engineering, Balkema. Rotterdam.
- Žura, M. 1991: *GIS v prometnem inženirstvu*. Ljubljana.
- ESRI 1996: *Building applications with MapObjects*. ESRI user manual.

GIS KOMPONENTE KOT PODPORA DINAMIČNEMU DOLOČANJU IN VIZUALIZACIJI PROMETNIH EMISIJ

dr. Danijel Rebolj
Laboratorij za gradbeno informatiko
Fakulteta za gradbeništvo
Univerza v Mariboru
Smetanova 17, Maribor
rebolj@uni-mb.si

dr. Peter Sturm
Institute for Internal Combustion Engines and Thermodynamics
Graz University of Technology
Inffeldgasse 25, A-8010 Graz
sturm@vkmb.tu-graz.ac.at

Izvleček

UDK 628.55:659.2:91

Cestni promet je največji vir onesnaževanja zraka zato je odločitve ustreznih strokovnjakov, ki so povezane z načrtovanjem prometa ali drugih emitentov, treba podpreti z verodostojnimi, hitro dostopnimi informacijami v razumljivi obliki. Zelo učinkovita rešitev je povezava emisijskega modela z geografskim informacijskim sistemom. Prispevek na kratko opisuje cestno prometni emisijski model (kot jedro sistema), podrobneje pa predmetno usmerjeno grafično okolje in GIS tehnologijo, s katero smo to osnovo nadgradili in ji dali povsem nove uporabne možnosti. Posebnost ciljnega programa je, da ni zgrajen znotraj GIS okolja (ni GIS-centričen), temveč v standardnem okolju za hitro razvijanje aplikacij, GIS funkcije pa so vključene preko t.i. programskih komponent. Program smo izdelali v dveh oblikah: kot samostojen program (za avstrijsko Štajersko deželno vlado) in kot funkcionalno komponento širšega programskega okolja za podporo življenjskega cikla ceste RO. V članku je podrobneje predstavljen prvi. Ključne besede: emisije cestnega prometa, izračun emisij, vizualizacija emisij, analiza emisij, GIS, komponentna tehnologija

Abstract

UDC 628.55:659.2:91

*GIS components as the basis for dynamic calculation and visualization of road traffic emissions
Road traffic is a dominant source of air pollution. Therefore, it is necessary to provide decision-makers with up to date emission information in an easy understandable form. An effective way to achieve this goal is to integrate the emission model with a geographical information system (GIS). The paper first gives a synopsis of the used emission model for road traffic and then describes the object oriented visual environment and GIS technology which we have used to upgrade the basic model. In this way, the integrated system offers an entirely new way of using the emission model and gives additional visualization and analysis possibilities. The target system was not developed in a GIS (it is not GIS centric), but in a standard RAD (rapid application development) environment, whereby the GIS functions were included in form of program components. Two target systems were built with the same technology: a stand-alone program EmiKAT (for the Austrian Styrian regional government) and a functional component of a more complex integrated system RO which supports a variety of processes in the road life-cycle. The first one is described in more detail.*

Key words: road traffic emissions, emission calculation, emission visualization, emission analysis, GIS, component technology

1. Uvod

Onesnaževanje okolja, ki ga povzročajo motorna vozila, je posebno v urbanih okoljih izredno naraslo. Dolgoročno bodo le izredno strogi standardi za izpušne pline in redukcija motornega prometa pripomogli k zmanjšanju onesnaževanja. V vsakem primeru pa je pri načrtovanju kakršnihkoli posegov v prostor, ki so povezani z emisijami prometa ali pa na promet neposredno vplivajo, nujno potrebno analizirati emisije škodljivih snovi, ki jih promet povzroča. Med posege, ki so s prometom povezani lahko štejemo npr. gradnjo infrastrukturnih objektov, ki tudi povzročajo emisije istih snovi, med tiste, ki na promet neposredno vplivajo pa npr. spremembe v cetni mreži (rekonstrukcije, novogradnje). Z analizo emisij med drugim ugotavljamo:

- ali lahko na določeni lokaciji postavimo objekt, ki tudi emitira enake škodljive snovi kot cestni promet, ne da bi presegli dopustne koncentracije teh snovi,
- katera varianta načrtovane nove ceste je manj neugodna z vidika emisij škodljivih snovi,
- kako vpliva povečanje prometa (zaradi npr. rekonstrukcije ipd.) na povečanje emisij,
- kakšen vpliv povzročajo emisije na določene objekte v okolju (npr. na kmetijske kulture, biotope, naseljena območja itd.)

Za analizo emisij potrebujemo ustrezna orodja - običajno računalniške programe. Osnova je emisijski model, ki je praviloma dvodelen. Prvi del se nanaša na določitev vrednosti emisij izbranih snovi, pri čemer mora upoštevati vse bistvene, tudi lokalne parametre strukture prometa in lastnosti ceste. Drugi del se nanaša na disperzijo emitiranih snovi v okolje, pri čemer bolj ali manj natančno upošteva lokalne parametre, ki vplivajo na prenos snovi v prostoru (predvsem so to vremenski pogoji in geometrija prostora). Temu delu pravimo tudi imisijski model.

Emisijski model sam pa še ne zagotavlja učinkovitosti sistema za analizo emisij. Za končne uporabnike mora biti tak model integriran v uporabniško prijazno, fleksibilno in dinamično programsko okolje, v katerem je mogoče izračune grafično prikazati ter ugotavljati tudi geografske korelacije z drugimi prostorskimi entitetami.

2. Emisijski model

Emisijski model, ki smo ga uporabili, je plod raziskovalnega dela Inštituta za motorje z notranjim zgorevanjem in termodinamiko na Tehniški univerzi v Grazu. Model razen običajnih fizikalnih zakonitosti upošteva tudi način vožnje v realnem okolju. Podatki, ki vplivajo na emitirane pline in porabo goriva vozil v realnem okolju, so zato bistvenega pomena za opisovanje posameznih cestnih odsekov, ki jih opazujemo pri prometnem planiranju. Priročnik emisijskih faktorjev za Nemčijo in Švico (UBA-Berlin 1995) te načine trenutno najbolj upošteva.

Izračun emisij se najpogosteje uporablja za določanje ravni onesnaževanja na določenih cestah ali za izračunavanja emisijskih katastrof. Takšne metode, ki temeljijo na cestah, izhajajo iz specifičnih emisijskih faktorjev, ki veljajo za določene pogoje vožnje (Sturm 1995). Povprečna hitrost vožnje je odločitvenega pomena pri določanju emisijskih aktivnosti posameznega vozila. Vendar novejša raziskave težijo k upoštevanju vozniških vzorcev, ki odražajo načine vožnje v urbanih in ruralnih področjih in s tem bolj približajo izračune

realnosti (UBA-Berlin 1995; Hassel 1995; Jost 1995).

Za izračun emisije vseh opazovanih vozil moramo ustrezne emisijske faktorje pomnožiti s številom vozil pripadajoče kategorije. Ne smemo pa prezreti, da se lahko pojavijo precejšnje razlike med številčno strukturo vozil in strukturo glede na prevožene razdalje. Tako je npr. vsota letno prevoženih razdalj za nova vozila večja kot za stara. Prav tako prevozijo vozila z dizelskim motorjem v povprečju precej večje razdalje kot bi pričakovali iz registracijskih statistik.

Kot smo že omenili, so na potovanjih temelječi izračuni pogosto uporabljeni v izračunavanjih emisijskih katastrof. Če so na razpolago prometni podatki na urni osnovi, je mogoče prikazati tudi dnevne variacije emisijskih količin. Emisijski model je podrobneje opisan v (Rebolj et al. 1997).

Izračun disperzije emitiranih snovi nadgrajuje opisani emisijski model. Uporabljena je enostavna nereagentna metoda, ki temelji na Gausovih izhodiščih za linijske izvore. Metodo so eksperimentalno potrdili predvsem poizkusi na odprtih, nezazidanih področjih (Chock 1977; Wilson 1977). Takšni imisijski modeli dajejo uporabne rezultate do oddaljenosti 500 m od roba ceste. Rezultat izračuna uporabljenega računalniškega modula so koncentracije emitiranih snovi v enakomernih oddaljenostih od osi cestnega odseka, ki so podane za vsako daljico v poliliniji posebej.

3. Prometni emisijski kataster avstrijske Štajerske

Simulacija, opisana v prejšnjem poglavju, je našla svojo značilno uporabo pri izdelavi najnovejšega katastra prometnih emisij za avstrijsko Štajersko. Študija, ki jo je naročila deželna vlada avstrijske Štajerske, zajema glavni del deželne cestne mreže (avtoceste, magistralne in regionalne ceste).

Prometni podatki so dobljeni na osnovi prometnih štetij, ki jih je izvedla deželna vlada. Naročnik je zahteval, da morajo biti pri izračunu emisij upoštevane tedenske, dnevne in urne variacije. Za izpolnitev te zahteve smo analizirali podatke z vseh avtomatskih števnihih postaj, ki so se zdele primerne. Pri tem smo ugotovili pet značilnih tipov tedenskih variacij prometnega toka:

- ceste z močnim porastom prometa v juliju in avgustu (tranzitne poti izvzemši avtoceste),
- ceste z majhnimi variacijami v prometnem volumnu (lokalne in urbane poti, večina manjših cest),
- ceste s hitrim porastom prometa med poletnimi in zimskimi počitnicami (ceste, ki vodijo k zimskim letoviščem),
- letne prometne variacije na avtocestah A2 in A9,
- letne prometne variacije tovornjakov na vseh cestah.

Naslednja pomembna razlikujoča značilnost, ki jo je treba upoštevati, nastopi pri urnih variacijah prometnega volumna. Za osebna vozila se je izkazalo, da le-ta ni odvisna od vrste cest, temveč predvsem od dneva v tednu, medtem ko na variacije prometnega volumna tovornih vozil dan v tednu skoraj nima vpliva. To omogoča, da pri izračunu upoštevamo le eno variacijsko pot. Na osnovi ugotovljenih letnih, tedenskih in dnevnih variacij, smo določili prometne podatke in tokove za vse opazovane cestne odseke v mreži.

Izgradnja modela cestne mreže, vključno s topografskimi podatki (nakloni in nad-

morskimi višinami), je bila neprimerno enostavnejša. Informacije o dolžini in položaju za vse odseke so bile odčitane s cestnih kart, pri čemer so bili posebno pozorno registrirani cestni profili.

Spremembe v prometni frekvenci ali cestnem profilu so narekovalе oblikovanje novega cestnega odseka. Model cestne mreže avstrijske Štajerske je tako razdeljen v približno 1000 odsekov (ali 2000 pasovnih odsekov). Določitev emisij temelji na izračunu emisijskih vrednosti za vsak posamezni odsek.

4. GIS podpora

Ker so ceste sestavni del geografije našega planeta, nam je lahko za grafični prikaz cestne mreže in vizualizacijo rezultatov analize onesnaževanja v veliko pomoč funkcionalnost geografskih informacijskih sistemov. GIS tehnologijo smo v okviru projektov Centra za gradbeno informatiko že uporabili pri načrtovanju in implementaciji Okolja za spremljanje življenjskega cikla cest RO (Rebolj 1998), med drugim tudi za funkcionalno komponento za izračun in prikaz emisij, ki pa je sprva temeljila na enostavnejšem emisijskem modelu (Rebolj 1995). Okolje Ro je projektno usmerjeno, posamezen projekt pa predstavlja le načrtovani segment ceste z manjšim številom upoštevanih emisijskih parametrov, zato se bomo tudi v nadaljevanju bolj posvetili emisijskemu katastru avstrijske Štajerske.

Razen enostavne vizualizacije podpira večina GIS orodij tudi interaktivne grafične metode, ki jih lahko učinkovito uporabimo za prikaz in editiranje atributov grafično izbranega cestnega odseka. Interaktivna grafika naj bi omogočala enostavno določitev željenega cestnega segmenta na osnovi grafične lokacije namesto na osnovi atributivne identifikacije.

Druga pomembna značilnost GIS-ov je možnost povezave katerekoli geografske entitete z drugo preko vsem skupne lastnosti - geografske lokacije. Na ta način lahko obogatimo t.i. "ne GIS centrične" aplikacije na dva načina:

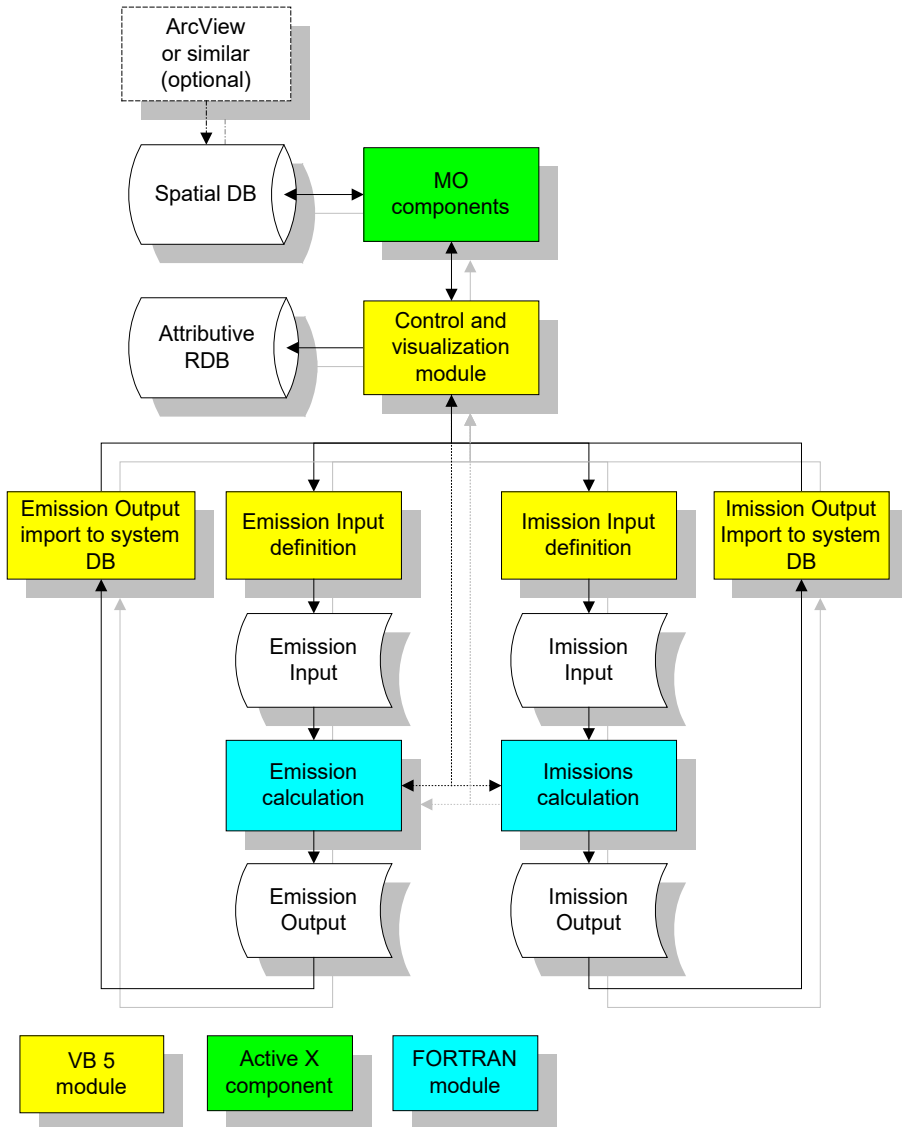
- z dodatnimi geografskimi temami, kot so uporaba zemljišč, kataster parcel, satelitski posnetki, terenski model ali imena krajev, lahko olajšamo orientacijo na cestni mreži,
- podrobneje lahko ocenimo vplive škodljivih snovi s prekrivanjem občutljivih geografskih tem, kot so: kmetiska zemljišča, biotopi in gozdovi, z onesnaženimi področji.

Ceste so v GIS-ih značilno predstavljene kot polilinije in so bile v ustrezno segmentirani obliki za primer avstrijske Štajerske že na razpolago. Vendar je bila v pridruženi atributivni podatkovni bazi na voljo le omejena množica atributov. Z njihovo pomočjo smo lahko le povezali cestne odseke v prostorski komponenti podatkovne baze GIS-a z zapisi v vhodni in izhodni datoteki programskega modula, ki je bil izdelan na osnovi opisanega računskega modela. Za učinkovito delovanje sistema pa je bilo potrebno vključiti dodatno podatkovno bazo, v katero smo zapisali vse potrebne attribute hkrati.

5. Arhitektura sistema

Pri načrtovanju in implementaciji sistema smo morali upoštevati naslednje pogoje:

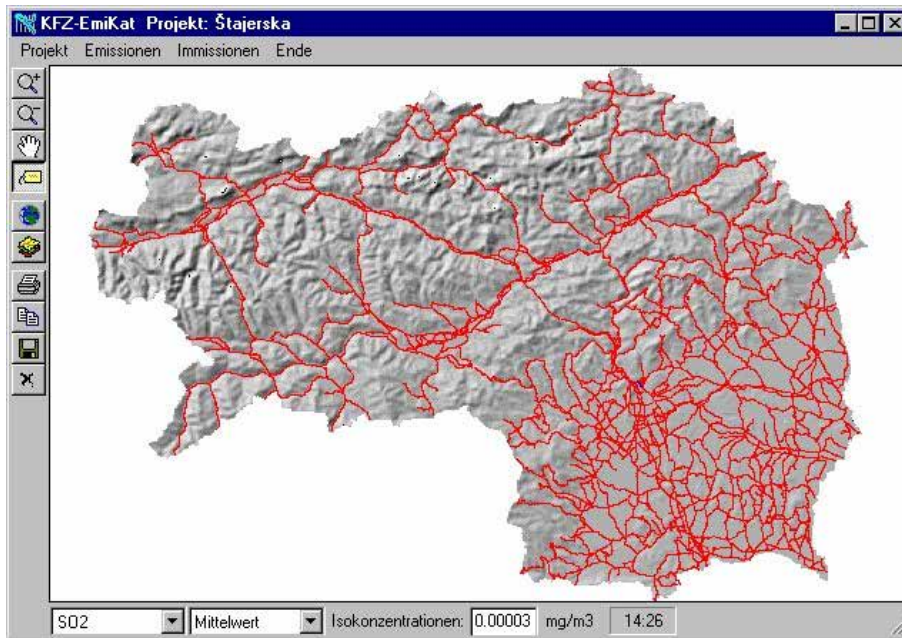
- interaktivni grafični vmesnik,
- operacijski sistem MS Windows,
- možnost vključevanja obstoječih geografskih tem (v obstoječi obliki),



Slika 1: Struktura sistema.

- grafično izbiro cestnih odsekov in enostavno editiranje njihovih atributov,
- dinamično odzivanje sistema na spremenjene vhodne podatke,
- vključitev paketnega FORTRAN-skega programa za izračun rezultatov.

Odločili smo se, da za implementacijo sistema uporabimo tehnologijo RAD (Rapid Application Development). Razlog je v predmetni zasnovi, vizualnem načrtovanju in implementaciji programov in enostavnem vključevanju programskih komponent v obliki Active X (ali OCX) kontrol. Komponentna tehnologija nam je v tem primeru omogoči-



Slika 2: Cestna mreža avstrijske Štajerske.

la tudi veliko večjo fleksibilnost in kompaktnost pri zasnovi in implementaciji sistema (Krajnc et al. 1997). Še zaradi nekaterih drugih razlogov smo kot osnovno orodje izbrali Visual Basic. Za podporo GIS funkcij smo vključili Active X komponente MapObjects firme ESRI (ESRI 1996).

Slika 1 prikazuje strukturo celotnega sistema, ki je vsebinsko razdeljen v dva dela: emisijski in imisijski. Prostorska podatkovna baza je lahko v treh oblikah, ki jih MapObjects podpirajo neposredno:

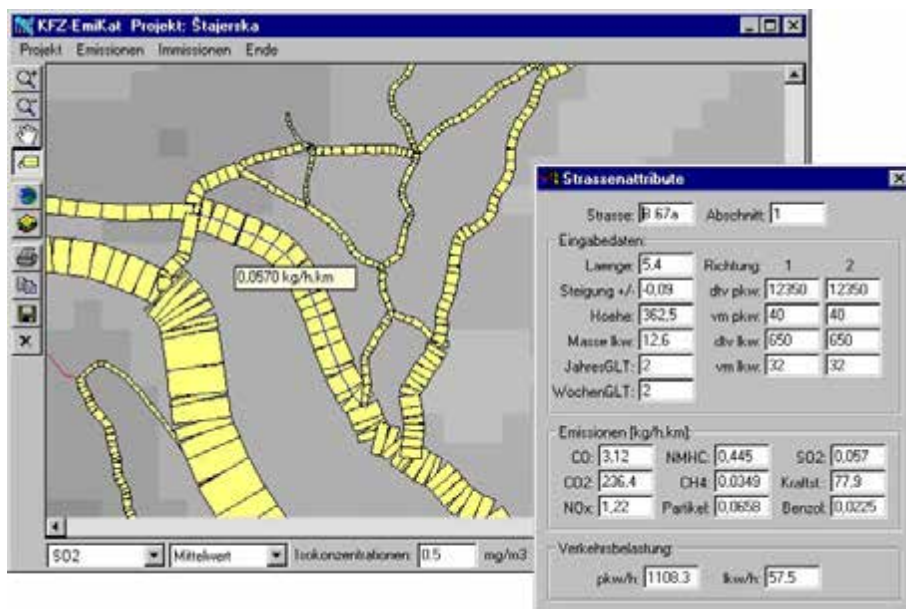
- ESRI shapefile,
- geografske teme, ki jih posreduje ESRI-jev strežnik SDE (Spatial Database Engine), ali
- ArcInfo cover.

Razen tega lahko dodajamo rasterske slike v obliki bmp ali tif datotek z ustreznimi koordinatnimi datotekami, ki se večinoma uporabljajo kot ozadje.

Sistemska podatkovna baza je projektno usmerjena, kar pomeni, da so vhodne in izhodne datoteke, parametri za določanje poteka izračuna, atributi cestnih odsekov, kot tudi ustrezne geografske teme, pridruženi k določenemu projektu. Število projektov s pridruženimi podatki je omejeno le z velikostjo razpoložljivega zunanjega pomnilnika.

6. Primer uporabe in rezultati

V prikazanem primeru smo izvršili izračun emisij, ki jih povzroča cestni promet v avstrijski Štajerski. Slika 2 prikazuje vseh 1126 cestnih odsekov, ki so vključeni v opazovano cestno mrežo. Rasterska slika prikazuje model terena, ki smo ga izbrali za ozadje. Ti dve



Slika 3: Emisijski diagram SO_2 in atributi izbranega cestnega odseka.

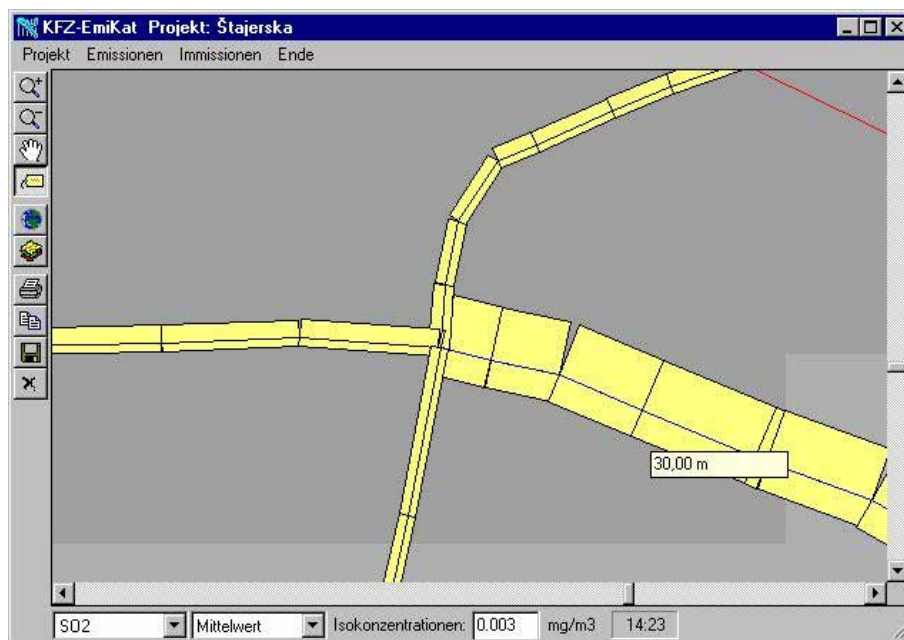
geografski temi smo določili skupaj z drugimi parametri projekta v posebnem projektne oknu, v katerem lahko projekte dodajamo, editiramo in brišemo iz centralne podatkovne baze. Dodatni parametri določajo način izvajanja paketnega programa za izračun emisij.

Ko opišemo nov projekt in zapremo projektno okno, se izbrane geografske teme prikažejo v grafičnem oknu - karti. Attribute poljubnega cestnega odseka lahko po želji opazujemo ali spreminjamo tako, da grafično izberemo željeni cestni odsek. Po vsaki spremembi atributov z ukazom v meniju ponovimo izračun emisij. Novi rezultati se shranijo v centralno podatkovno bazo in so takoj na voljo.

Ko je podatkovna baza obnovljena z ustreznimi rezultati izračuna, lahko emisije izbrane snovi prikazemo na karti v obliki diagrama. Slika 3 prikazuje emisijski diagram SO_2 ter dodatno okno, v katerem so na voljo osnovni in izračunani atributi izbranega cestnega odseka.

Po izračunu emisij lahko za izbrani del cestne mreže aktiviramo še izračun imisij. Pri tem lahko izbiramo med različnimi datotekami, ki določajo vplive okolja na disperzijo snovi v prostoru. Rezultat, dobljen v numerični obliki koncentracij vseh opazovanih snovi za enakomerne oddaljenosti od osi (0, 10, 20 m itd.) program pred vizualizacijo preoblikuje v pas za izbrano koncentracijo izbrane snovi (slika 4).

Nadaljnjih prostorskih analiz program ne podpira, toda diagram imisij lahko shranimo kot tematsko plast v enem od podprtih formatov in ga uporabimo v kakšnem drugem specializiranem programu ali splošnem GIS okolju. Tam lahko nadaljujemo s podrobnejšo geografsko analizo, kot je npr. prekrivanje določenih tematskih plasti, "občutljivih" za določeno mejno koncentracijo, s pasom, ki predstavlja mejo te koncentracije.



Slika 4: Imisijski diagram SO_2 za koncentracijo $0,003 \text{ mg/m}^3$.

7. Sklep

Stalen porast prometa pomeni, da je posebno v urbanih območjih in metropolah količina izpušnih plinov postala bistven faktor pri onesnaževanju okolja. Narašča potreba po rednejšem preverjanju količin emisij, tako za določanje celotne ravni emisij ali za ugotavljanje vpliva spremenjenih lokalnih prometnih pogojev na količino emisij. Za preverjanje sprememb v količini emisij je smiselna uporaba orodij, ki omogočajo enostaven dostop do aktualnih informacij. To je mogoče z integracijo računskega modela in sistema za prikaz rezultatov v razumljivi obliki.

Predstavljen sistem ima dinamične lastnosti in je geografsko podprt s čimer omogoča učinkovito, interaktivno uporabo. Namenjen je uporabnikom, ki potrebujejo rezultate v razumljivi obliki kadar in kjer jih potrebujejo, kot tudi tistim, ki želijo podrobneje analizirati vplive različnih škodljivih snovi na določene geografske teme oz. objekte.

Zahvala

Velik del opisanega dela je finančno podprla deželna vlada avstrijske Štajerske, oddelek za spremljanje kvalitete zraka. Avtorja se zahvaljujeta tudi dr. Gerhardu Semmelrocku in magistru Oswaldu Mörthu za njuno pomoč. Zahvala gre tudi Ministrstvu za znanost in tehnologijo RS, ki je delno financiralo razvoj dinamičnega emisijskega modela.

Literatura in viri

Chock, D. P. 1977: *General Motors Sulfate Dispersion Experiment - an Overview of the Wind, Temperature and Concentration Fields. Atmospheric Environment, Vol. 11.*

ESRI 1996: *Building Applications with MapObjects*, Environmental Systems Research Institute, Inc.

Hassel, D., Jost, P., Weber, F.J., Dursbeck, F., Sonnborn, K.S., Plettau, D. 1995: *Das Emissionsverhalten von Nutzfahrzeugen in der Bundesrepublik Deutschland im Bezugsjahr 1990. Berichte 7/95*, Erich Schmidt Verlag. Berlin.

Jost, P., Hassel, D., Sonnborn, K.S. 1995: *A new method to determine exhaust emission factors for heavy duty vehicles. The Science of the Total Environment, Vol. 169*, Elsevier Science.

Krajnc, M., Krajnc, A., Kline, A. 1997: *Komponentna tehnologija – nadgradnja objektivne tehnologije. Objektivna tehnologija v Sloveniji OTS'97 (zbornik)*, Univerza v Mariboru.

Rebolj, D. 1995: *Simulacija škodljivih emisij prometa s pomočjo dinamičnega emisijskega modela. Zbornik četrtega mednarodnega posvetovanja Komunalna energetika. Maribor.*

Rebolj, D., Sturm, P., Hausberger, S. 1997: *Dinamično določanje in vizualizacija onesnaženja, ki ga povzroča cestni promet. Zbornik šestega mednarodnega posvetovanja Komunalna energetika. Maribor.*

Rebolj, D. 1998: *Integrated information system supporting road design, evaluation and construction. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, Blackwell Publishers, MA, Vol. 13.*

Sturm, P. J. 1995: *Abgasemissionen des Straßenverkehrs und ihre Ausbreitung in der Atmosphäre. VDI Fortschrittsberichte, Reihe 15, Bd. 139*, VDI-Verlag. Düsseldorf.

UBA-Berlin 1995: *Emissionsfaktorenhandbuch für den Straßenverkehr. BUWAL. Bern.*

Wilson W. E. et al. 1977: *General Motors Sulfate Dispersion Experiment - Summary of EPA Measurement. JAPCA, Vol. 27.*

DIGITALNI PODATKI TAL SLOVENIJE

Borut Vrščaj in dr. Franc Lobnik
Univerza v Ljubljani
Biotehniška fakulteta
Center za pedologijo in varstvo okolja
Jamnikarjeva 101, Ljubljana
borut.vrscaj@bf.uni-lj.si
franc.lobnik@bf.uni-lj.si

Izvleček

UDK 631.4:659.2:91(497.4)

V prispevku so predstavljeni delo, postopki in rezultati dolgoletne uporabe GIS orodij in tehnik na Centru za pedologijo in varstvo okolja Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Na kratko so opisani sistem za zajem in obdelavo podatkov tal, postopki, načini in razvita programska oprema. Predstavljena je večina digitalnih podatkov tal Slovenije - trije talni informacijski sloji. Najvažnejši je digitalna pedološka karta 1 : 25.000, ki jo dopolnjujeta točkovni sloj pedoloških profilov in točkovni sloj (ne)onesnaženja tal.

Ključne besede: pedološka karta, GIS

Abstract

UDC 631.4:659.2:91(497.4)

Digital soil data of Slovenia

At the Centre for Soil Science and Environment, Biotechnical Faculty, University of Ljubljana GI systems and techniques in soil data management and processing are used for several years. In the paper the system for soil data capturing, processing, manipulating is shortly presented. The majority of digital soil information of Slovenia is presented - three soil information layers. Soil Map in the scale 1:25.000 as the most important layer; soil profile data and soil pollution monitoring points data.

Key words: soil map, GIS

1. Uvod

1.1. Tla

Med geološko-litološko podlago in atmosfero leži plast, ki ji rečemo tla. Tla so del prostora; dajejo oporo in hrano rastlinam in so pogoj za njihovo rast in razvoj. Rastline omogočajo preživetje živalim in človeku. Tla so torej pomemben naravni vir, zato je potrebno poznati tako njihove lastnosti kakor tudi njihovo zastopanost v prostoru (Čirić 1987; Stritar 1987; Škorič 1986; Stritar 1990; Prosen 1993). Različne vrste tal se lahko med seboj zelo razlikujejo, še posebej v takem prostoru kot je Slovenija.

Pedološka karta ali karta tal je dokument, ki vsebuje podatke o raznovrstnosti tal, njihovih lastnostih in s tem tudi o njihovi primernosti za rabo v različne namene. Pedološka karta ter drugi pedološki podatki predstavljajo temeljne podatkovne zbirke o naravnem viru vsake države.

1.2. Digitalni podatki tal

V okviru CPVO smo zasnovali prve digitalne prostorske opredeljene podatkovne baze tal že leta 1986, ko smo začeli uporabljati prvo GIS programsko opremo. Do konca leta

1997 smo pokrili z digitalnimi pedološkimi podatki 92 % slovenskega ozemlja (slika 1). Podatki tal so organizirani v treh informacijskih slojih:

- digitalna pedološka karta 1 : 25.000,
- pedološki profili,
- točke onesnaženja tal.

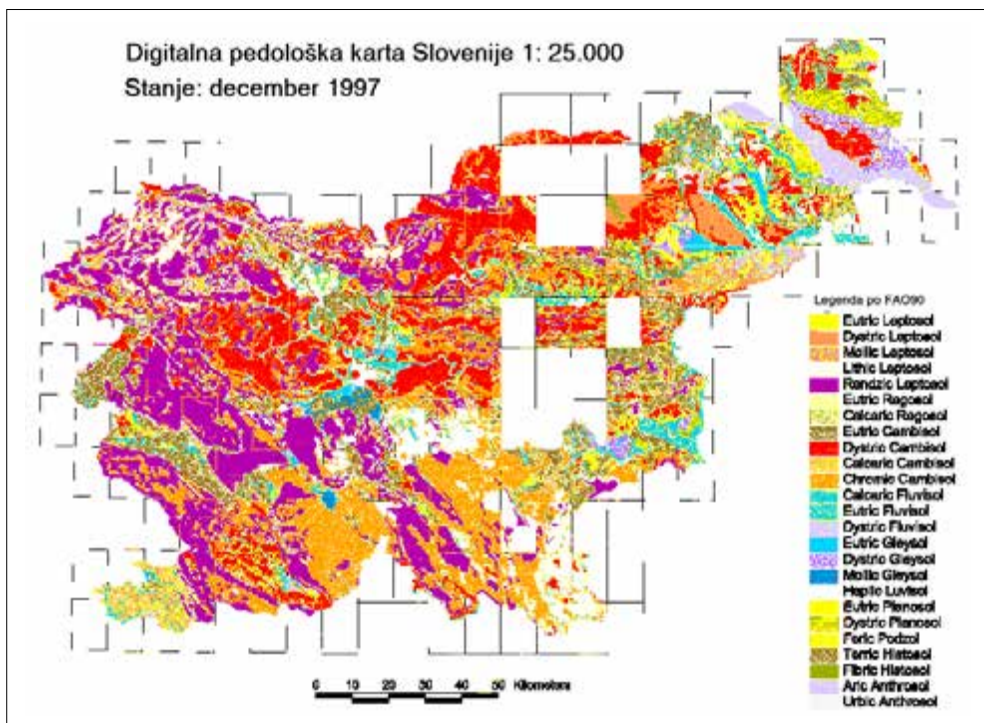
2. GIS na CPVO

Kot že omenjeno, smo na Centru za pedologijo in varstvo okolja (CPVO) začeli resneje geokodirati podatke tal leta 1987, ko smo začeli uporabljati programski paket GSMAP, GSPLOT in GSDRAW (USGS, ZDA). Potrebe so hitro prerasle zmožnosti te programske opreme, zato je bilo potrebno poiskati zmogljivejšo. Leta 1991 smo začeli uporabljati PC ArcInfo 3.4 in pozneje verzijo 3.4Dplus. Prej zajete podatke smo prevedli v ArcInfo obliko.

Obseg podatkov je kmalu prerasel zmogljivosti in konec leta 1992 smo glavnino sistema in podatkovnih baz prenesli v UNIX okolje. S programsko opremo WS ArcInfo 6.02 na delovni postaji Silicon Graphics smo razvili knjižnico pedoloških podatkov. Sistem smo povezali z osebnimi računalniki, ki še naprej služijo za vnos podatkov in osnovne obdelave.

CPVO tako lahko uvrstimo med organizacije, ki so med prvimi v Sloveniji uporabljale ArcInfo, predvsem pa med prve ne-geodetske organizacije, ki so svoje podatke zajemale, hranile in obdelovale v GIS okolju.

Uporaba GIS postopkov in tehnik obdelave podatkov je na CPVO postala standarden



Slika 1: Pokritost Slovenije z DPK 1 : 25.000 decembra 1997.

način dela. Področja dela, kot so raziskovalno in aplikativno vrednotenje tal kot naravnega vira, različne presoje vplivov na okolje, prostorske analize ob izgradnji velikih infrastrukturnih objektov, kontrola rodovitnosti tal in druge, si brez uporabe GI tehnologije ne moremo več predstavljati.

3. GIS v pedologiji

3.1. Sistem za zajem, obdelavo in vrednotenje podatkov tal

Za zajem, obdelavo in vrednotenje pedoloških podatkov smo razvili v okolju PC ArcInfo informacijski sistem. Potrebno je bilo izdelati avtomatiziran postopek za vnos, urejanje, obdelavo in izris pedoloških kart. Za ta namen smo morali izdelati prilagojeno programsko opremo v predvsem v SML jeziku. Število napisanih večjih programov je do leta 1992, do ko je bil razvoj PC informacijskega sistema končan, naraslo na petindvajset. Tako so postopki vnosa podatkov in njihove obdelave standardizirani. Sistem je dokumentiran s priročnikom in navodili za delo.

3.1.1. Digitalizacija in obdelava grafičnih datotek

Zajem grafičnih podatkov v ArcInfo okolju je zahteval razvoj večinoma krajših programov v SML programski kodi. Programi so ozko navezani na programske module, v katerih poteka vnos, urejanje, popravljanje in vzdrževanje podatkov. Ti so povezani v sistem, ki omogoča tekočo digitalizacijo in vzdrževanje kart. Razvili in povezali smo zbirko programov, ki je navedena v preglednici 1.

3.1.2. Upravljanje z atributnimi datotekami

Za polnjenje, vzdrževanje in analizo atributnih datotek so bili napisani računalniški programi, ki omogočajo nadzorovan in avtomatiziran vnos, kontrolo, pretvorbo, osveževanje in obdelavo predvsem atributnih podatkov (preglednica 2). Programi so večinoma daljši in predstavljajo zaključene celote. Uporabljamo jih tudi zunaj okolja GIS za iskanje, kontrolo, izpise podatkov lastnosti tal in talnih profilov.

4. Digitalni pedološki podatki

Pedološka karta (PK) predstavlja evidenco tal kot naravnega vira. PK je ena temeljnih prostorskih podatkovnih zbirk. Digitalna pedološka karta (DPK) je elektronska oblika PK.

4.1. Digitalne pedološke karte v tujini

V večini držav Zahodne Evrope in Severne Amerike so v osemdesetih letih začeli razvijati talne informacijske sisteme, ki v devetdesetih postajajo operativni (USDA 1979; Bregt 1987). V nekaterih državah so uspeli izdelati DPK velikega merila; v drugih jim je to uspelo le delno. Nacionalno pedološko kartiranje malega merila je v državah EU razen nekaj izjem končano. Večina PK je v digitalni/GIS obliki, ostale bodo v naslednjih letih (Breuning-Madsen 1995). DPK uporabljajo kot vir podatkov za podporo pri ugotavljanju namembnosti prostora, reševanju ekoloških problematik ter vodenju kmetijske in razvojne politike. DPK EU 1 : 1M, pedološke podatkovne baze in pedološki modeli kombinirani z ostalimi podatki okolja so osnovni vir informacij projekta MARS (ISRIC 1990, 1995; Breuning-Madsen 1995). Najnovejša in novejša zakonodaja članic EU in celotne EU pa

Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1997-1998

| Izdelani programi | Njihova funkcija |
|--|--|
| VMETGENE, AE AEMENU + MNU, AEDIR, AE25, AEM25 | Nastavitev parametrov digitalizacije, sama digitalizacija, vnos in korekcija linij ter identifikacijskih točk. |
| NONODE, VELIMGK, VMETELIM | Grafično urejanje datoteke, eliminacija 'sliver' poligonov, odvečnih vozlišč, kontrola. |
| VGK25, VMETRE | Pretvorba grafičnih koordinat linij v Gaus-Krügerjevo projekcijo. |
| PKE, PKEEDIT + MNU PKEND | Vnos in popravljanje osnovnih atributov grafičnega dela. |
| APDIR, APMDIR, PLOTMAP, PLOTFILE, MAPTEST, PK25MAP, PK25MAP4, PK25LEG1, PK25LEG2 | Programi zajemajo vzpostavitev okolja za izdelavo in izris kartnega materiala, izris kart v različnih merilih, izdelavo kart, pripravo in izdelavo legend, pretvorbo v odgovarjajočo obliko in opremljanje s komentarji. Prevladuje merilo 1 : 25.000 v katero je vključena priprava za izris na topografsko karto 1 : 25.000 kot podlago. |

Preglednica 1: Izdelani SML programski moduli za vnos grafičnih podatkov.

| Izdelani programi | Njihova funkcija |
|-------------------|--|
| DD.EXE | Program za pretvorbo DMS koordinat v DD koordinate in zapis v obliko, kot jo zahteva program VGK25.SML. Skupno 230 programskih vrstic. |
| PKEV2.EXE | Program za vnos, korekcijo, nadzor, vodenje in izpisovanja seznama pedokartografskih in pedosistematskih enot. Skupno cca 2300 programskih vrstic. |
| PROFILI.EXE | Program za vnos, korekcijo, pregledovanje in izpis podatkov pedoloških |
| | profilov. Skupno cca 3900 programskih vrstic. |
| LABTLA.EXE | Program za vnos, korekcijo, pregledovanje, izpisovanje, hranjenje in pretvorbo analitskih podatkov talnih vzorcev pedološkega laboratorija. Skupno cca 4.000 programskih vrstic. |
| PKESSEZ.EXE | Program dopolni grafične podatke s podatki pedosistematskih enot in njihovimi lastnostmi. |
| MAKELEG.EXE | Izpis legend v ASCII obliko primerno za prenos v druge programe, kot so urejevalniki teksta, slik... |
| VSEPS.EXE | Izpis pedokartografskih in pedosistematskih enot ter njihovih lastnosti. |

Preglednica 2: Najvažnejši programi za upravljanje z atributnimi podatki.

predpisujeta digitalne podatke tal kot obvezne pri vrednotenju prostora in pri različnih okoljevarstvenih študijah, še posebej pri presojah vplivov na okolje.

4.2. Digitalna pedološka karta v Sloveniji

V sedemdesetih letih so v jugoslovanskem okviru zasnovali za tiste čase sodoben talni informacijski sistem. Grafični del ni bil realiziran predvsem zaradi nezadostnih računalniških strojnih in programskih zmogljivosti; shranjevali so samo podatke pedoloških profilov v alfanumerični obliki (Pedološki informacijski sistem Jugoslavije 1979; Miloš 1987). Same karte so bile klasične - tiskane. Razvoj sistema je v osemdesetih zamrl. Podatki, ki so jih republike pošiljale v sarajevski center, pa so večinoma izgubljeni.

Pedološko kartiranje v merilu 1 : 25.000 je v Sloveniji po zmanjšanju intenzivnosti v sedemdesetih in deloma osemdesetih letih v devetdesetih spet steklo z večjo hitrostjo. Vzporedno s kartiranjem poteka tudi digitalizacija pedološke karte (Vrščaj 1994, 1996). Predvideno je, da bo celo ozemlje Slovenije pokrito z DPK koncem leta 1998.

Namen digitalizacije pedološke karte je izdelati pedološko karto kot sodoben, računalniško podprt dokument, ki bo omogočal uporabo in vrednotenja z modernimi računalniškimi postopki, načini in orodji GIS. GI baza podatkov tal ki je nastala, predstavlja tisti vir podatkov, ki je za mnoge prostorske analize in načrtovanje nujno potreben. Z digitalno pedološko karto in spremljevalnimi informacijskimi sloji bo Slovenija pridobila potrebne podatke, saj je njihova uporaba je deloma že uzakonjena, deloma pa verjetno še bo, saj zakonodaja EU predpisuje uporabo podatkov tal tudi na drugih področjih (npr. Direktiva 85/337 1985).

5. Oprema, postopki dela in podatki

Strojna oprema: računalnik Silicon Graphics (UNIX) in PC (DOS, Windows); vse povezane v lokalni mreži. Digitalizacija poteka z digitalizatorjem GTCO Corporation DIGI-PAD A1. Za izpisovanje in izrisovanje kart uporabljamo risalnika Hewlett Packard DraftPro 7550 A1 in Encad NovaJet III A0.

Glavna programska oprema: UNIX WS ArcInfo 7.x in PC ArcInfo 3.4Dplus ter ArcView ver. 1.0, 2.1, 3.0a (vse ESRI Redlands, ZDA).

Izdelana programska oprema. Za zajem, obdelavo in hranjenje atributnih podatkov smo razvil lastno programsko opremo. Za razvoj aplikacij, avtomatizacijo procesov in povezovanje modulov v ArcInfo okolju, uporabljamo programska jezika SML (PC ArcInfo) in AML (WS ArcInfo).

6. Postopki

Pridobivanje, interpretacijo in osnovno obdelavo podatkov tal lahko na kratko strnemo v naslednje točke:

- Pedološko kartiranje zajema terensko delo, kot je pregledovanje terena ter opisovanje in vzorčenje pedoloških profilov. Ob namenu ugotavljanja onesnaženosti tal na terenu tla vzorčimo, opisujemo po za to prirejenih postopkih (Lobnik et al. 1989, 1992).
- Laboratorijska analiza tal. Talne vzorce analiziramo v analitskem laboratoriju, kjer s standardnimi analitskimi metodami in postopki (ISSSO/SIST) določamo

kemijske in fizikalne lastnosti tal.

- Interpretacijo in vrednotenje analitskih podatkov in na njihovi podlagi dopolnitev, potrditev ali popravek terenskih opazovanj in zapisov.
- Izris avtorskega originala pedološke karte.

Digitalizacija meja pedokartografskih enot. Avtorske originale pedoloških kart z vrisanimi in označenimi pedokartografskimi enotami digitaliziramo v modulu ARCEDIT s ob uporabi dodatnih SML rutin.

Pretvorba v Gaus-Krügerjevo projekcijo. Pretvorba iz DMS oz. DD v GK projekcijo poteka avtomatsko s pomočjo SML/AML rutin.

Izgradnja topologije. Meje pedokartografskih enot digitaliziramo v tako imenovanem 'špageti načinu' (ESRI 1994). Z ustreznimi ArcInfo podprogrami in dodatnimi SML rutinami uredimo grafične datoteke ('dangling-nodes', 'sliver' poligoni, korekcija napak, 'label points'...) dodamo atributne podatke in tako ustvarimo informacijski sloj s poligonalno topologijo.

Urejanje robov - ujemanje kart. Medsebojno ujemanje meja pedokartografskih enot na sosednjih kartah zagotavljamo s podprogramom Edgematch v kombinaciji z dodatnimi SML rutinami.

Izris kart. V preteklosti smo razvili postopke za izris podatkov direktno na topografsko karto (Vrščaj 1994). Na ta način pedološko vsebino dodamo obstoječim tiskalnim TK 25.000. V sedanjem času izrisujemo karte do velikosti A0 predvsem s pomočjo ArcView ob uporabi različnih rastrskih podlog.

7. Opredelitev in strukturiranje pedoloških podatkov

Pedološki podatki so razdeljeni v tri skupine - tri informacijske sloje, ki jih prikazuje slika 2.

Informacijski sloji, podatki, spremne datoteke in šifranti, programska in strojna oprema ter ustaljeni postopki in načini dela sestavljajo **Talni informacijski sistem Slovenije**. Ta je še vedno v fazi dopolnjevanja in prilagajanja potrebam uporabnikov podatkov.

7.1. Namen in uporabnost informacijskega sloja pedološke karte

Digitalna pedološka karta merila 1 : 25.000 (PK25000) predstavlja temeljno evidenco talnega fonda na nivoju države, regij, občin ali večjih območij. PK25000 s podatki, ki jih vsebuje, omogoča gospodarjenje s tlemi kot virom, vrednotenje primernosti tal za kmetijsko in drugo rabo; predstavlja podatkovno osnovo pri načrtovanju posegov in spremembo namembnosti rabe prostora. Je eden izmed potrebnih virov podatkov za načrtovanje rabe prostora kakor tudi obvezen vir podatkov za usmerjanje okoljevarstvenih aktivnosti (EU direktiva 85/337 1985).

Za potrebe meril 1 : 100.000 in več, je natančnost PK25000 preveč detajlna in jo je potrebno z ustreznimi postopki generalizirati. Podatki digitalne PK25.000 so še vedno uporabni pri vseh obdelavah v bolj detajlnem merilu od 1 : 20.000. Pri vrednotenjih pod merilom 1 : 10.000, pa lahko služijo le kot dobra aproksimacija.

7.2. Definicija objekta informacijskega sloja: poligona PKE

Definicija PKE: *Pedokartografska enota (PKE) predstavlja osnovno kartografsko enoto pedološke karte. PKE je sestavljena iz ene ali več pedosistematskih enot (PSE), ki*

Digitalna pedološka karta: pedološke kartografske enote (PKE)



Atributne datoteke:

- pedokartografske enote;
- pedosistematske enote.

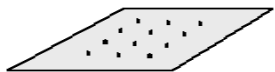
Fizikalne in kemijske lastnosti tal: pedološki profili (PP)



Atributne datoteke:

- podatki lokacij profilov;
- opisni podatki horizontov;
- analitski podatki horizontov:
 - standardna pedol. analiza;
 - razširjena pedol. analiza.

Onesnaženje tal (OT)



Atributne datoteke:

- podatki lokacij vzorčenja;
- organske substance v tleh;
- anorganske substance v tleh:
 - kislinsko topne in izmenljive;
- anorganske substance v rastlinskih vzorcih.

Spremljene datoteke in šifranti



Šifranti:

- atributov pedosistematskih enot;
- atributov opisnih podatkov horizontov;
- laboratorijskih analitskih metod;
- rastlinskih delov;
- matične podlage;
- pooblaščenih laboratorijev.

Slika 2: Razdelitev pedoloških podatkov v skupine - informacijske sloje.

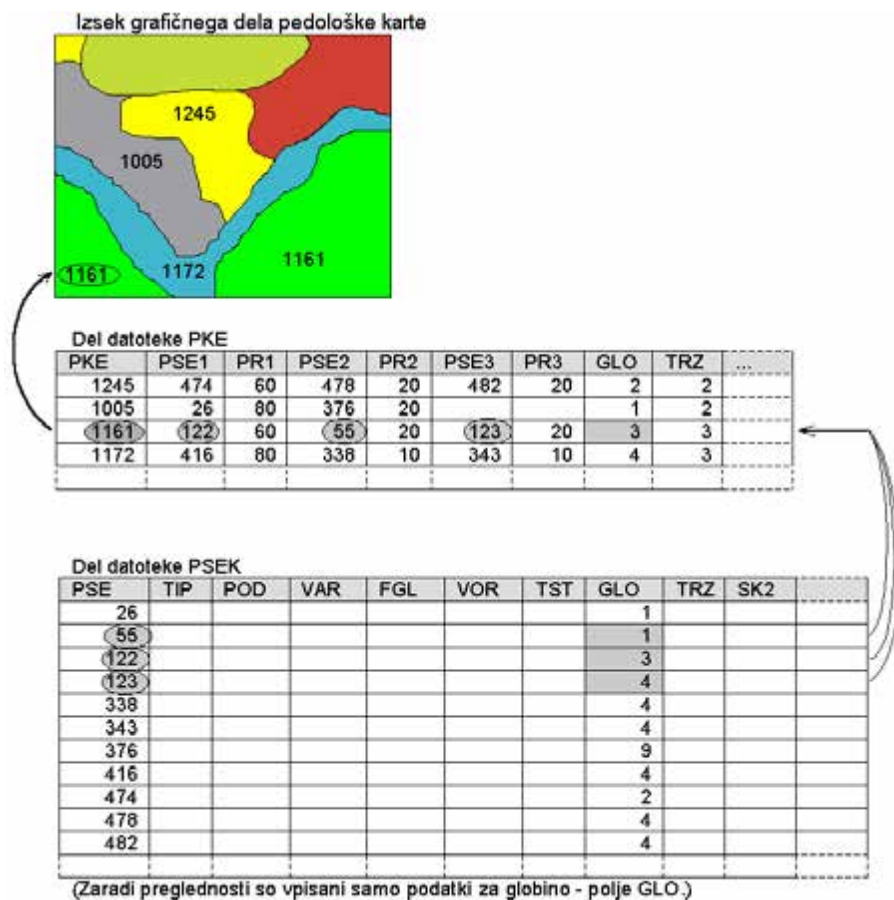
v naravi značilno nastopajo skupaj in jih zaradi merila karte ni mogoče ločeno prikazati. PKE tako sestavljajo do tri PSE, njihova zastopanost v skupni površini pa je opredeljena s % (Prus 1994).

Definicija PSE: *Pedosistematska enota (PSE) je enota tal (=talni tip) v določenem sistemu klasifikacije z značilnimi lastnostmi, ki se bistveno razlikujejo od lastnosti drugih tal (druge pedosistematske enote), (Prus 1994).*

7.3. Topološka oblika in struktura sloja

Informacijski sloj PKE je poligonalni sloj. Poligoni PKE se med seboj razlikujejo po zastopanih pedosistematskih enotah (tipih tal) in njihovem medsebojnem razmerju.

Lastnosti PKE lahko določamo na različne načine po različnih ključih. Temeljijo



Slika 3: Navezovanje lastnosti PSE prek PKE na grafični del informacijskega sloja.

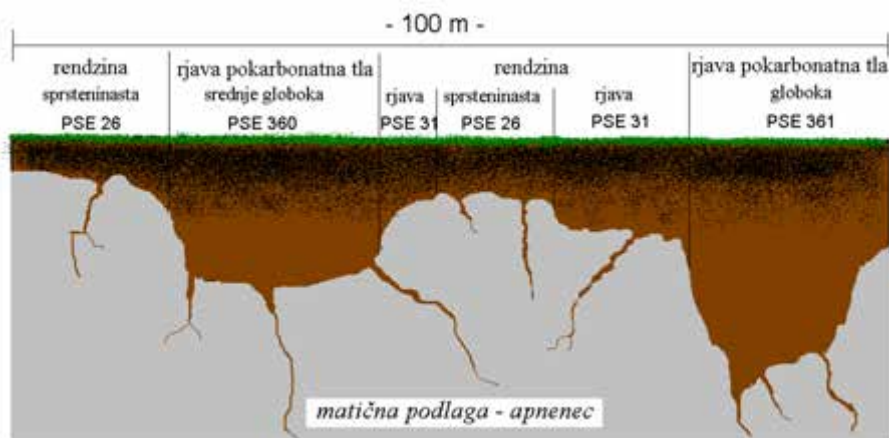
predvsem na povprečnih kemijskih, fizikalnih in biotičnih lastnostih v PKE zastopanih PSE ter na njihovem razmerju v PKE (slika 3).

7.4. Izvajanje lastnosti PKE iz podatkov PSE

Lastnosti PKE so izvedene iz lastnosti PSE pri čemer je upoštevana proporcionalna zastopanost PSE v PKE. Osnovne atribute pedosistematskih enot/talnih tipov vsebuje datoteka PSEK. Navezovanje lastnosti PSE na PKE in s tem pretok podatkov iz datoteke PSEK prek datoteke PKE in na grafični del informacijskega sloja, kar omogočajo ustrezna računalniška orodja za vzpostavljjanje relacij med bazami podatkov (slika 3).

7.5. Vzroki za sestavljenje pedokartografske enote

Način prehajanja pedosistematske enote v pedosistematsko enoto je lahko v naravi različen. V večini primerov je ta prehod postopen na razdalji od metra pa do nekaj deset (redko celo sto metrov). Veliko pogosteje se v naravi pojavljajo tla v značilnih združbah. V tem primeru so talni tipi hitro izmenjujejo na majhnem območju in jih glede na merilo ne moremo posebej izvajati. V tem primeru pedolog na podlagi pregleda terena in sondiranja



Slika 4: Spreminjanje tal na majhni razdalji; primer združbe tal na apnencih.

oceni površino posameznega talnega tipa v kartografski enoti (slika 4) ter poskuša na terenu določiti in zarisati mejo med pedosistematskimi in/ali pedokartografskimi enotami merilu primerno natančno. Nekatere pedokartografske enote so čiste in vsebujejo samo eno pedosistematsko enoto. Vendar so te v razgibanem slovenskem prostoru dokaj redke. Različnost tal in njihovo hitro prehajanje, predvsem pa merilo zajema 1 : 25.000 in z njim določena natančnost pedološkega kartiranja, v glavnem omogoča določitev pedokartografskih enot v kateri so zastopane dve ali tri pedosistematske enote.

Pri ogledu terena nemalokrat naletimo tudi na tipe tal, ki se le redko pojavljajo v okviru PKE, vendar je ta pojavnost dovolj pogosta, da jih označimo kot inkluzije. Kljub temu, da je inkluzijska PSE ob pregledu terena večkrat odkrita, je površina, ki jo zaseda, le v okviru nekaj procentov.

7.6. Datoteke in atributni podatki.

V okviru informacijskega sloja povezujemo PKE in PSEK datoteki atributnih podatkov.

7.6.1. Datoteka PKE

PKE je datoteka pedokartografskih enot, ki ima za vsako PKE opredeljene PSE in zastopanost v odstotkih. Vsebuje tudi povprečne lastnosti pedokartografskih enot. Te so določene sintetično na podlagi izračuna/ovrednotenja lastnosti PSE in odstotka PSE ter predstavljajo le dober, merilu kartiranja ustrezen približek.

7.6.2. Datoteka PSEK

Datoteka PSEK je seznam in šifrant pedosistematskih enot Slovenije in je relacijsko povezana s PKE datoteko (slika 3). Vsebuje osnovne lastnosti PSE. Te so povprečne in veljajo za celo Slovenijo, saj so nastale ob primerjavi lastnosti enakega talnega tipa v celem slovenskem prostoru. Tako so lastnosti za isto vrsto tal - PSE, ki se na primer pojavlja na Primorskem in Štajerskem, enake ali se zelo malo razlikujejo. Podane so v kategorijah, ki so tako grobe, kolikor jih dopušča oziroma narekuje merilo kartiranja 1 : 25.000 (CPVO 1993; Ruprecht 1994; Prus 1993) .

| POLJE | TIP | ENOTE | VSEBINA |
|------------|-----|------------------|--|
| PSE | N | Koda po šifrantu | Številčna koda pedosistematske enote |
| RAZ | C | Vpis | Razred tal po veljavni klasifikaciji |
| TIP | C | Vpis | Pedosistematska enota, tip tal |
| POD | C | Vpis | Podtip |
| VAR | C | Vpis | Varieteta |
| OBL | C | Vpis | Oblika |
| FAO | C | Oznaka | FAO oznaka pedosistematske enote |
| PRO | C | Vpis | Profil tal - običajni vrstni red horizontov v profilu PSE |
| MAK | C | Koda po šifrantu | Matična podlaga na katerih se PSE pretežno pojavlja |
| VEK | C | Koda po šifrantu | Običajna vegetacija kjer PSE pojavlja |
| TST | N | Število od 7-100 | Talno število kot potencial rabe tal glede na kmetijsko proizvodnjo (primernost tal za kmetijsko rabo) |
| BOT | N | Koda po šifrantu | Bonitetne točke |
| GLO | N | Koda po šifrantu | Povprečna globina PSE |
| FGL | N | Koda po šifrantu | Povprečna fiziološka globina PSE |
| VOR | N | Koda po šifrantu | Vodne razmere tal |
| TRZ | N | Koda po šifrantu | Povprečna tekstura (zrnavost) PSE |
| DIE | N | Koda po šifrantu | Distričnost / Evtričnost PSE |
| PH1 | N | Koda po šifrantu | Povprečni pH prvega horizonta |
| PH2 | N | Koda po šifrantu | Povprečni pH drugega horizonta |
| OS1 | N | Koda po šifrantu | Organska snov prvega horizonta |
| OS2 | N | Koda po šifrantu | Organska snov drugega horizonta |
| SK1 | N | Koda po šifrantu | Skeletnost prvega horizonta |
| SK2 | N | Koda po šifrantu | Skeletnost drugega horizonta |

Preglednica 3: Nekateri podatki PSE v šifrantu PSEK.

7.7. Informacijski sloj pedološkega profila

Pedološki profil je navpičen presek tal, v katerem določimo in opišemo pedološke horizonte. Profili so izkopani v okviru pedološkega kartiranja ali drugih raziskav tal. Iz vsakega horizonta (identificiranega sloja v profilu) vzamemo vzorec, ki ga v laboratoriju analiziramo in določimo glavne kemijske in fizikalne lastnosti tal. Opisi pedoloških profilov skupaj z analitskimi podatki horizontov v največji meri predstavljajo lastnosti talnega tipa - pedosistematske enote. Analitski podatki horizontov se ločijo na standardno in razširjeno pedološko analizo.

Definicija: *PEDOLOŠKI PROFIL (TALNI PROFIL)* je navpičen presek skozi vse horizonte tal, od površine do matične podlage. Lastnosti tal so podane s terenskim opisom horizontov in analitskimi podatki horizontov. Lokacija profila je določena z GK koordinato (Prus 1994).

Posamezni objekti v sloju predstavljajo točke izkopanih profilov, ki so prostorsko opredeljene z X, Y in Z koordinato. Točka kot grafični objekt je povezana prek ID z atributnimi podatki talnih profilov, ki se nahajajo v različnih datotekah. Topološko gledano je PP točkovni informacijski sloj.

7.8. Informacijski sloj onesnaženosti tal

Človek s svojimi dejavnostmi vnaša v okolje snovi, ki ga onesnažujejo. Tla so bolj kot zrak in voda tisti del prostora, v katerem se škodljive snovi kopičijo. Zrak in voda se za razliko od tal ne prestopata; z ustreznimi ukrepi lahko hitro dosežemo njuno izboljšanje. Tla pa so sistem, v katerem se škodljive anorganske in organske substance zadržujejo; vključujejo se v kroženje snovi, negativno vplivajo na rast in razvoj rastlin in prehajajo v prehajajo v živalsko in človeško prehrano (Hudnik 1994; Lobnik 1994).

Zato med zelo pomembne podatke tal uvrščamo tudi podatke o onesnaženju tal in rastlin z različnimi snovmi, ki jih prispevajo industrija, promet, kmetijstvo ter druge človekove dejavnosti (Pintar 1994).

Med snovi, ki tla onesnažujejo štejemo predvsem:

- težke kovine (Pb, Cd, Cr, Zn, Ni, Hg, Mo, itd);
- organske substance (poliaromatski ogljikovodiki, mineralna olja, fenoli, dioksini, itd.);
- ostanki fitofarmaceutvskih sredstev (DDT, triazinski preparati, itd.).

Število elementov in substanc se širi in dopolnjuje. kar ima za posledico dopolnjevanje podatkovnih struktur z novimi polji in drugačnimi analitskimi postopki.

7.8.1. Definicija objekta informacijskega sloja onesnaženosti tal

Objekt: točka vzorčenja onesnaženja tal OT

Definicija: *PROFIL ONESNAŽENJA TAL je navpičen presek idealiziranih tal od površine do globine 5 cm, 5 do 20 in 20 do 30 cm. Vzorci posameznih globin (slojev) so reprezentativni povprečni vzorci globin šestih profilov izkopanih v krogu premera 100 m. Lokacija središča kroga je opredeljena z X,Y GK koordinatama (Prus 1994).*

Ker je točka središče kroga vzorčenja in opazovanja s premerom 100 m, lahko sklepamo, da dobljeni podatki predstavljajo povprečne vsebnosti substanc in lastnosti tal na površini približno 0,8 ha (slika 5).

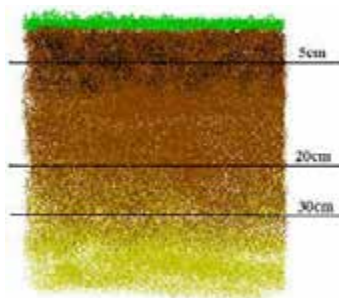
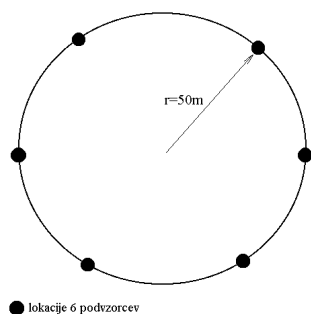
7.9. Atributni podatki

Na grafične objekte so navezane datoteke z atributi:

- lokaciji in posebnosti pri vzorčenju onesnaženja tal;
- analitskimi podatki organskih substanc v tleh (pesticidi ...);
- kislinsko topnih anorganskih substanc v tleh (težke kovine);
- izmenljivih anorganskih substanc v tleh;
- anorganskih substanc v rastlinskih vzorcih, nabranih na področju lokacije vzorčenja.

8. Sklep

Digitalni podatki tal predstavljajo nujno potreben vir informacij za mnoga načrtovanja



Vzorčenje v krogu. Končni vzorec vsake globine je sestavljen iz šestih podvzorcev iste globine.

Vzorčenje treh globin tal ne glede na meje horizontov: 0-5cm, 5-20cm in 20-30cm.

Slika 5: Vzorčenje tal: prostorska razporeditev podvzorcev in globine vzorčenja.

v prostoru, kmetijsko pridelavo, snovanje in usmerjanje okoljevarstvenih aktivnosti ter druge posege in dejavnosti. Digitalna pedološka karta je temeljna zbirka podatkov o tleh kot naravnemu viru in kot taka potreben dokument, ki so ga izdelale vse napredne države. Tla Slovenije kot samostojne države so tudi ustrezno predstavljena (Vidic 1998, Vrščaj 1998). Podatki tal dajejo v interdisciplinarnih vrednotenjih z drugimi prostorskimi informacijami celovitejšo sliko prostora in pripomorejo k celovitejšim rezultatom (Kobler 1998)

Podatkovne zbirke podatkov tal na Centru za pedologijo in varstvo okolja predstavljajo dober vir informacij. Podatke uporabljamo v mnogih aktivnosti in raziskavah CPVO, ravno tako se povečuje število zunanjih uporabnikov podatkov tal (CPVO 1994; Prus 1994; Prus 1996; Ruprecht 1994).

Predvideno je, da bo koncem leta 1998 celo območje Slovenije pokrito s pedološko karto 1 : 25.000. V naslednjih letih naj bi po predvidevanjih dopolnili potrebne atributne podatke, olajšali dostop do podatkovnih baz prek računalniških komunikacij in dopolnili Talni informacijski sistem. Vse aktivnosti so pogojene z ustreznim financiranjem s strani državnih organov in institucij.

Literatura in viri

- Bregt, A. K., Denneboom J., Van Randen, J., Rose, J. 1987: *Gebruikershandleiding bodemkundig informatiesysteem*. Stichting voor bodemkartering. Wageningen.
- Breuning-Madsen H., Jones, R. J. A. 1995: *Soil profile Analytical Database for European Union*. *Geografisk Tidsskrift, Danish Journal of Geography*.
- CPVO-Center za pedologijo in varstvo okolja, 1994: *Strokovne podlage predpisa o mejnih in kritičnih imisijskih vrednostih snovi v tleh*. Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo. Ljubljana.
- CPVO-Center za pedologijo in varstvo okolja, 1994: *Nacionalni program namakanja Republike Slovenije, Poglavje 3.11: Pedologija; raziskovalno poročilo*. Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo. Ljubljana.
- Čirić, M. 1984: *Pedologija*. SOUR Svijetlost. Sarajevo.
- ESRI-Environmental System Research Institute, Inc. 1994: *Understanding GIS - The ARC/INFO Method, Version 7 for UNIX and Open VMS*. Redlands, USA.

- Hudnik, V., Zupan, M., Lobnik, F., Kozak-Legiša, Š. 1994: *Bioavailability Assessments of Cd, Zn and Pb in Polluted Soils with Indicator Plant Plantago lanceolata L., Biogeochemistry of Trace Elements. A special issue of Environmental Geochemistry and Health, Volume 16, University of Bradford, UK.*
- ISRIC-International Soil Reference and Information Centre 1990: *Guidelines for the description and coding of soil data, Revised edition.*
- ISRIC-International Soil Reference and Information Centre 1995: *Global and National Soils and Terrain Digital Databases (SOTER), Procedure Manual.*
- Kobler, A., Vrščaj, B., Poljak, M., Hočevar, M., Lobnik, F. 1998: *Corine Land Cover Slovenia GIS database project - Current Status. International Conference on GIS for Earth Science Application. Ljubljana.*
- Lobnik, F. et al. 1992: *Monitoring onesnaženosti tal in vegetacije v Sloveniji. BF Agronomija. Ljubljana.*
- Lobnik, F. et al. 1989: *Tematska karta onesnaženosti zemljišč celjske občine. BF Agronomija. Ljubljana.*
- Miloš, B. 1987: *ustni vir.*
- Pedološki informacijski sistem Jugoslavije, kodni priručnik, maj 1978.
- Pintar, M., Suhadolc, M., Lobnik, F., Pezdič, J., Hudnik, V. 1995: *Nitrate and Atrazine transfer from rural catchment to water - Case study in Apače Valley, Slovenia. 8th International Symposium on Environmental pollution and its Impact on Life in the Mediterranean Region. Rhodos, Greece.*
- Prosen, A. 1993: *Sonaravno urejanje podeželskega prostora. Katedra za prostorsko planiranje na Fakulteti za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana.*
- Prus T. 1994: *ustni vir.*
- Prus, T., Vrščaj, B. 1994: *Application of soil information system in the national project of irrigation in Slovenia. Fifth European Conference on Geographical Information Systems EGIS/MARI'94. Paris.*
- Prus, T., Šporar, M., Rupreht, J., Vrščaj, B., Tič, I. 1996: *Primerjalna študija poteka tras AC na osnovi presoje vplivov na tla kot sestavnega dela okolja in valorizacije pridelovalnega potenciala kmetijskih zemljišč za odsek Cogetinci-Radmožanci. Študija za izbor variante.*
- Rupreht, J., Prus, T., Vrščaj, B., Šporar, M., Knapič, M., Kočar, I. 1994: *Presoja vplivov na tla kot sestavni del okolja z valorizacijo pridelovalnega potenciala kmetijskih zemljišč za avtocestni odsek Arja vas – Vransko, Variantni pododseki: Južna, V1, V2.*
- Rupreht, J., Prus, T., Vrščaj, B., Šporar, M., Knapič, M., Tič, I. 1994: *Presoja vplivov na tla kot sestavni del okolja z valorizacijo pridelovalnega potenciala kmetijskih zemljišč. Detajlna študija za odsek Šentjakob-Domžale.*
- Rupreht, J., Šporar, M., Prus, T., Vrščaj, B., Knapič, M., Kočar, I. 1994: *Presoja vplivov na tla kot sestavni del okolja z valorizacijo pridelovalnega potenciala kmetijskih zemljišč za odsek avtoceste Razdrto-Vrtojba; pododseki Razdrto-Vipava, Vipava-Skrilje, Skrilje-Selo, Poročilo.*
- Škorič, A. 1986: *Postanek, razvoj i sistematika tla. Sveučilišna naklada. Zagreb.*
- Stritar, A. 1990: *Krajina, krajinski sistemi, Raba in varstvo tal v Sloveniji. Partizanska knjiga. Ljubljana.*
- Stritar, A. 1991: *Pedologija - Kompendij.*

- Uradni List RS 7/90: Pravilnik o normativih, analitskih postopkih in metodah ugotavljanja onesnaženosti tal in vegetacije ter pogojih za uporabo nekaterih snovi v kmetijstvu in gozdarstvu. Ljubljana, 1990.*
- USDA-United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service, July, 1979: PEDON Coding System for the National Cooperative Soil Survey.*
- Vidic, N. 1995: ustni vir.*
- Vidic, N., Vrščaj, B., Prus, T., Zupan, M., Lobnik, F. 1998: Genesis of Slovenian Soils. 16th World Congress of Soil Science. Montpellier.*
- Vrščaj, B., Prus, T. 1994: Soil Information System (SIS/TIS) in Slovenia. Fifth European Conference on Geographical Information Systems EGIS/MARI'94. Paris.*
- Vrščaj, B., Zupan, M., Lobnik, F. 1989: Računalniška obdelava podatkov v projektu Tematska karta onesnaženosti tal in zemljišč celjske občine. Zbornik Biotehniške fakultete, supl,13, 1989.*
- Vrščaj, B. 1996: Izdelava modela podatkovnega segmenta Talnega informacijska sistema.*
- Vrščaj, B., Prus, T., Lobnik, F. 1998: The Soil Information System of Slovenia. International Conference on GIS for Earth Science Application. Ljubljana.*
- Vrščaj, B., Prus, T., Lobnik, F. 1998: Digital Soil map of Europe 1:1M – Slovenia. INRA, digitalna podatkovna baza, ArcInfo. Orleans.*

STATISTIČNI GIS POKROVNOSTI IN RABE TAL SLOVENIJE Z OCENO SPREMEMBE POKROVNOSTI TAL MED LETOMA 1993 IN 1997

Danijela Šabić, Enisa Lojović in dr. Ana Tretjak

Oddelek geomatike in GIS

Statistični urad Republike Slovenije

Parmova 33, Ljubljana

danijela.sabic@gov.si

enisa.lojovic@gov.si

ana.tretjak@gov.si

Izvleček

UDK 528.46:659.2:91(497.4)

Kmetijske statistike, nacionalna kmetijska politika in stroke, ki spremljajo spremembe pojavov v prostoru, potrebujejo podatke pokrovnosti in rabe tal na nivoju regij. Leta 1996 smo iz Landsat-TM/93 satelitsko skeniranih podatkov izdelali prvo koropletno numerično karto pokrovnosti tal Slovenije. Metoda opredeljevanja pokrovnosti tal je slonela na stratifikaciji satelitsko skeniranih podatkov Slovenije po odbojnih vrednostih površin kmetijske rabe tal. Najmanjša enota opredeljevanja je bila 20 hektarjev. Razmerje med deleži kategorij pokrovnosti tal je potrdilo domnevni prirast gozdnih in zazidanih površin na račun kmetijskih površin. Z dodatno uporabo še drugih georeferenciranih podatkovnih slojev smo v letu 1997 izdelali statistični GIS pokrovnosti/rabe tal Slovenije-stanje '93. V prispevku je opisan postopek združevanja teh slojev. Opisani so tudi problemi in kriteriji izločanja tistih podatkov iz vsakega podatkovnega sloja, katerih lokacije so se v povezavi z drugimi georeferenciranimi podatki izkazale za nelogične ali celo izključujoče. Prikazan je postopek izdelave statističnega GIS-a pokrovnosti in rabe tal Slovenije za stanje 1997 z uporabo Landsat-TM/97 podatkov in analiza časovnih sprememb pokrovnosti tal Slovenije v obdobju med letoma 1993 in 1997.

Ključne besede: GIS, pokrovnost/raba tal, satelit, georeferencirani podatki, analiza sprememb, ocena kvalitete

Abstract

UDC 528.46:659.2:91(497.4)

Statistical land cover/land use GIS of Slovenia with land cover change detection during 1993 and 1997

Accurate land-cover data on regional level is required for agricultural statistics, national agricultural policy and monitoring environmental changes. In 1996, the first digital choropletic land-cover map of Slovenia has been produced from Landsat-TM/93 data by stratification of the scanned data with reflectance values characteristic for the agriculture land use. The minimum mapping unit was 20 hectares of uniform land cover. The obtained digital map with the statistics of hectares and of land cover/use categories confirmed the long suspected increase of the areas under forest and built-up areas on the account of the agriculture land. The additional use of auxiliary georeferenced databases resulted in an improved statistical Land Cover/Use GIS of Slovenia-state '93. The compilation procedure of the used georeferenced data layers is presented as well as the problems that arouse only when various data layers were merged. The criteria to reject features with dubious or even exclusive locations in connection with other georeferenced data are described. The follow up work is oriented to the compilation of an updated land cover/land use statistical GIS for state 1997 on a higher level of accuracy and is based on a new set of Landsat-TM/97 data. The applied methodology for land cover

change detection during 1993 and 1997 is described as well.

Key words: GIS, land cover/use, satellite, georeferenced data, change detection, quality assessment

1. Izdelava numerične koropletna karte pokrovnosti tal

Za potrebe kmetijske statistike smo v letu 1994 iz podatkov skeniranih s satelitom Landsat-TM/93 izdelali koropletno numerično karto pokrovnosti tal.

Numerično karto smo izdelali po dopoljeni metodologiji regionalne inventarizacije MARS/JRC, ki predvideva stratifikacijo območji po odbojnih vrednostih georeferenciranega Landsat-TM/93 mozaika (scene: 191/028 Q2 in Q4-floating, 23. avgust; 190/028 Full, 26. maj in 189/028 Q-1 in 2, 20. junij). Največji kontrast odbojnih vrednosti med kmetijskimi in drugimi območji je bil v primeru uporabljenih Landsat-TM/93 podatkov viden v kombinaciji TM kanalov 4 (0,76-0,90 mm), 5 (1,55-1,75 mm) in 7 (2,08 -2,35 mm). Ta kombinacija je bila uporabljena za barvni slikovni izris mozaika v merilu 1 : 200.000. Uporabili smo ga za določitev kriterija stratifikacije, ki je bil različna stopnja intenzivnosti kmetijske rabe tal. Le-ta se je odražala v različnih odbojnih vrednostih, oziroma različnih jakostih barv.

Opredelili smo naslednje stratumne:

- intenzivno kmetijski z nad 70 % kmetijske rabe tal; stratum A,
- srednje kmetijski z 40 % do 70 % kmetijske rabe tal; stratum C,
- malo kmetijski z 10 % do 40 % kmetijske rabe tal; stratum D,
- nekmetijski s pod 10 % kmetijske rabe tal; stratum E.

Glede na velikost slikovega elementa ali piksla je bila celotna Slovenija v 4 delih tiskana še v merilu 1 : 75.000 kot delovna podlaga. Na teh kartah je bila velikost tiskanega slikovnega elementa (30 m x 30 m) narisana v velikosti približno 1/2 mm x 1/2 mm. To je omogočilo izrisovanje homogenih površin velikosti do vsaj 20 ha. (20 ha je približno 7 mm x 7 mm na karti M 1 : 75.000, kar je približno 15 pikslov x 15 pikslov).

Na preložene prosojnice smo vrisali meje posameznih stratumov, jih digitalizirali ter dopolnili z ustrežno oznako stratuma. V času izdelave te karte smo imeli še uradne georeferencirane podatke registra teritorialnih enot in digitalnega modela terena DMR-100. Zaradi pomanjkanja drugih uradnih georeferenciranih podatkov smo se odločili, da od pozidanih površin izločimo le tiste, ki so imele nad 10.000 prebivalcev. Obrisne mask teh mest smo digitalizirali iz kart M 1 : 25.000. Z klasifikacijo kanalov 4, 3 in 2 Landsat-TM/93 podatkov pa smo izločili površine 14 jezer in solin. Skale in melišča v hribih smo izločevali s skupno uporabo podatkov Landsat-TM/93 in digitalnega modela terena. Na ta način smo dobili podatke, ki so prikazani v preglednici 1.

Stratumi A, C, D in E niso čiste kategorije pokrovnosti tal ali razredi rabe tal, ampak predstavljajo kompleksno pokrovnost z ustreznim deležem kmetijske rabe tal. Delež kmetijske rabe tal je bil določen z vizualno oceno in lokalnim poznavanjem razmer. V vseh štirih stratumih je vegetacija prevladujoča pokrovnost tal. V vsakem stratumu pa so prisotne še nevegetacijske površine, ki so manjše od 20 hektarjev (hiše, ceste, železnica, peskokopi, kamnolomi, manjša jezera/zajezitve, reke itd.). Njihov delež je bil vizualno ocenjen v vsakem stratumu. Te površine so bile uvrščene v kategorijo 'neopredeljeno'. Tako smo dobili deleže posameznih kategorij pokrovnosti tal (preglednica 2).

| Stratum | hektarji | definirani kot: |
|------------|--------------|---|
| A | 383.909,22 | 70-100 % kmetijska raba |
| C | 282.097,27 | 40-70 % kmetijska raba |
| D | 129.851,58 | 10-40 % kmetijska raba |
| E | 1,170.128,19 | < 10 % kmetijska raba |
| Pokrovnost | hektarji | dobljeni z: |
| S | 39.792,21 | skale in melišča digitalizirani iz Landsat-TM/93 in DMR-100 |
| V | 6.296,46 | jezera in zaježitve dobljeni s klasifikacijo Landsat-TM/93 |
| U | 13.999,85 | obrisi mest z > 10.000 prebivalcev iz TK 25 |
| Skupaj | 2,026.074,78 | Slovenija |

Preglednica 1: Površine stratumov in kategorij pokrovnosti tal.

| Stratum | pokrovnost tal v % | | |
|---------|--------------------|------|----------------|
| | kmetijsko | gozd | neopredeljeno* |
| A | 90 | - | 10 |
| C | 65 | 30 | 5 |
| D | 17 | 78 | 5 |
| E | 5 | 94 | 1 |

*Preglednica 2: Deleži kategorij pokrovnosti tal po stratumih (*pretežno naselja, zaselki, individualne hiše/kmetije z vrtovi/dvorišči, odlagališča, kamnolomi, peskokopi, transportna mreža itd.)*

Kategoriji 'neopredeljeno' smo prišteli površine mest in s tem dobili kategorijo 'nerodovitno'. Po vsebini bi lahko preostali dve kategoriji S (skale in melišča) in V (vodne površine) prišteli v kategorijo 'nerodovitno'. Ker pa obe kategoriji predstavljata naravne pojave jasno opredeljene pokrovnosti tal, smo ju ohranili kot samostojni kategoriji. Z uporabo spodnjih enačb smo dobili kategorije pokrovnosti tal Slovenije (preglednica 3).

Kmetijsko: 90 % stratuma A + 65 % stratuma C + 17 % stratuma D + 5 % stratuma E + ha vinogradov + ha sadovnjakov

Gozd: 30 % stratuma C + 78 % stratuma D + 94 % stratuma E - ha vinogradov - ha sadovnjakov

Nerodovitno: 10 % stratuma A + 5 % stratuma C + 5 % stratuma D + 1 % stratuma E + 100 % stratuma U

Vse štiri stratume (A, C, D in E) smo digitalizirali in združili z že digitaliziranimi kategorijami S, V in U. Numerično koropletno karto smo dopolnili z legendo barv, hektarji, ocenjenimi odstotki, enačbo izračuna kategorij pokrovnosti tal, ki vsebuje tudi zadnje statistične podatke površin vinogradov in sadovnjakov, jo shranili na magnetni medij ter posredovali uporabnikom.

| Pokrovnost tal | hektarji | % |
|---------------------|-----------|------|
| Kmetijsko | 666.137 | 33 |
| Gozd | 1,229.160 | 61 |
| Skale in melišča | 39.792 | 2 |
| Jezera in zajezitve | 6.297 | 0,3 |
| Nerodovitno | 84.689 | 4 |
| Slovenija | 2,026.074 | ≅100 |

Preglednica 3: Hektarji pokrovnosti tal Slovenije.

2. Izdelava statističnega GIS-a pokrovnosti/rabe tal Slovenije, stanje '93

Leta 1996 smo se odločili, da izboljšamo vsebino izdelane koropletno karte pokrovnosti tal z uporabo drugih georeferenciranih baz podatkov. Najprej smo razčlenili nomenklaturu kategorij pokrovnosti in razredov rabe tal v skupine, ki omogočajo enolično opredeljevanje skeniranih podatkov:

- gozdne površine (ne vključuje vegetacije znotraj urbanega prostora),
- površine s kmetijsko rabo tal (ne vključuje vegetacije znotraj urbanega prostora),
- površine voda,
- površine skal in melišč,
- pozidane površine, znotraj tega raba tal:
 - površine hiš z vrtovi in dvorišči,
 - površine pod cestami,
 - površine pod železnico,
- ostalo: na karti in v legendi označeno kot 'neopredeljeno', ker zajema površine kot so odlagališča, peskokopi, kamnolomi ipd., ki jih je možno razpoznati na satelitsko skeniranih podatkih le pod določenimi pogoji in zato v tej klasifikaciji ne predstavljajo ta pojav v celoti.

Navedene kategorije pokrovnosti in rabe tal so podrobneje opisane v 42. številki Statističnih informacij v poglavju metodoloških pojasnil.

Za izdelavo statističnega GIS-a pokrovnosti/rabe tal Slovenije s prikazom stanja iz leta 1993 smo uporabili sledeče georeferencirane baze podatkov, ki pokrivajo celo Slovenijo in ki so z določeno frekvenco tudi vzdrževane. Kjer je bilo možno, smo uporabili podatke iz leta 1993:

- **Georeferenciran mozaik** Slovenije izdelan iz skeniranih podatkov satelita Landsat-TM/93 z ločljivostjo 30 m in napako poravnave ocenjeno s primerjavo na TK25 manj kot en piksel. Georeferenciran mozaik je bil izdelan na Statističnem uradu RS.
- Digitalizirane **meje gozdov** izdelane na Inštitutu za Gozdarstvo RS s fotointerpretacijo letalskih posnetkov merila 1 : 5.000 ali 1 : 10.000 v obdobju 1983 do 1989. Skupno sta bila 202 numerična lista kart rezanih po približnih mejah TK25. Le 14 od teh je bilo uradno označenih kot končni izdelek. Podatki niso imeli ocene kvalitete. Podatke smo v delovni obliki prevzeli od Zavoda za prostorsko

planiranje na Ministrstvu za okolje in prostor.

- Obrise **tekočih voda, jezer in zajezev** smo prevzeli od še neuradnih podatkov Hidrometeorološkega zavoda Republike Slovenije na Ministrstvu za okolje in prostor. Vektorski podatki so bili skenirani s kart TK 25. Podatki niso imeli ocene kvalitete.
- **Skale in melišča** smo določili z uporabo digitalnega modela terena – 100 m (DMR-100), ki smo ga v 80-tih letih dobili od Geodetskega Zavoda Slovenije (Vir podatkov: Geodetska uprava RS). DMR-100 je izdelan iz TK 25. Razen podatka o deklarirani natančnosti odčitka višine na področjih, ki niso porasla z drevjem, ni nobenega podatka o kakovosti teh podatkov.
- **Centroide hiš**, to je težišče vsake hiše, ki ima hišno številko in je določena iz kart merila 1 : 5000 z natančnostjo 1m. Podatkovna baza je vzdrževana dnevno. Drugih podatkov o kvaliteti nismo dobili. Podatke smo dobili na Statistične uradu RS, vir podatkov pa je Geodetska uprava RS.
- Vektorske podatke **avtocest, magistralnih, regionalnih in lokalnih cest** smo dobili od Direkcije RS za ceste. Podatki so dobljeni iz kart PK 5000 ali enakovrednih podlag in v atributivni tabeli opredeljeni v kategorije cest. Podatkov o kvaliteti nismo dobili.
- Vektorske podatke **železniških prog** smo prevzeli od Slovenskih železnic. Vektorski podatki so bili izdelani iz kart merila 1 : 50.000. **Železniške postaje**, ki so vektorizirani sloj TK 25, smo dobili od Geodetskega Zavoda Slovenije. V obeh primerih nismo imeli podatkov o kvaliteti.
- Površine in obrise regij smo vzeli iz **registra teritorialnih enot (RTE)**, izdelan na Geodetskem Zavodu Slovenije in Statističnem uradu RS. Vir podatkov je Geodetska uprava RS. Izdelan je z digitalizacijo administrativnih enot na kartah 1 : 5000. Drugih informacij o kvaliteti te baze podatkov nismo dobili.

Statistični GIS pokrovnosti/rabe tal Slovenije smo nameravali izdelati z združitvijo georeferenciranih podatkovnih slojev. Z izločitvijo gozdnih, vodnih in pozidanih površin ter skal in melišč iz skeniranih Landsat-TM podatkov bi ostale le še površine s pretežno kmetijsko rabo tal. Natančno izbrani vzorci na terenu bi omogočili opredelitev le-teh v površine s trajnimi nasadi (vinogradi, sadovnjaki, hmeljišča,) v travnike in pašnike in preostale pretežno kmetijske površine. Slednje bi vključevale še odlagališča, peskokope, gramoznice, ki bi jih bilo možno opredeliti le s časovno analizo satelitsko skeniranih podatkov. S časovno analizo smo nameravali opredeliti tudi površine v zaraščanju.

Izdelavo statističnega GISa pokrovnosti/rabe tal Slovenije pa smo zaradi pomanjkljive kakovosti uporabljenih baz podatkov popolnoma spremenili in se med samim delom prilagajali naravi prevzetih podatkov.

Obrisi gozdnih površin so bili razdeljeni v podskupine, ki so opredeljevale funkcije posameznih delov gozda. Te meje smo izločili in uporabili le obrise gozdnih površin. Vsebinsko smo popravljali podatke le tam, kjer je bila sprememba rabe tal nedvoumno zaznana s satelitom. Na območjih, kjer gozd sploh ni bil opredeljen ali pa le grobo zarisan, smo te obrise dodali ali pa obstoječe popravili na stanje, ki ga je prikazoval satelitski podatek.

Od vektoriziranih podatkov voda smo uporabili le podatke jezer, zajezev, podatke večjih rek, opredeljenih z bregovi ter kanale. Za opredelitev obrisa Cerkniškega jezera

smo po priporočilu vira upoštevali višinsko plastnico 550 m. Ta podatkovni sloj voda smo shranili kot samostojni sloj in s tem ohranili dejansko površino voda. Na končnem izdelku, kjer smo uporabili kopijo podatkovnega sloja voda, se ta površina zmanjša za površine mostov cest in mostov železnic. Kopijo smo namreč združili s podatkovnim slojem obrisov gozdnih površin in preložili čez podatke Landsat-TM. V primerih, ko so se obrisi gozdov sekali z obrisi voda, smo na osnovi prikaza stanja na podatkih Landsat-TM/93 opredelili pripadnost obrisa enemu od navedenih kategorij pokrovnosti tal.

S pomočjo DMR-100 smo na odbojnih vrednostih satelitsko skeniranih podatkov, značilnih za skale, melišča, grušč, slabo ali komaj poraščene površine, opredelili skale. Vse obrise gozdov, ki so nedvoumno vključevali podatke z odbojnimi vrednostmi značilnimi za skale, smo popravili in opredelili kot skale.

Centroidi hiš so z geografsko koordinato določena središča tistih hiš, ki imajo hišno številko. Nimajo podatka o uporabi in tudi ne o površini. Zato smo vsem centroidom najprej dodali površino s polmerom 20 m. V gosteje naseljenih krajih so se te površine zlele v večje poligone, od katerih smo ohranili površino, opredeljeno z zunanjim obrisom. V naseljih z > 10.000 prebivalci smo večjim objektom (industrijski objekti, skladišča, parkirišča, šole, športni objekti ipd.) določili površino s pomočjo satelitskih podatkov in kart TK 25. Tako predeljene površine centroidov hiš in večjih objektov smo uvrstili v kategorijo "pozidano". Kopijo sloja pozidano smo združili z slojema gozdnih površin, površin voda in skal. Kadar je površina centroida sekala mejo gozda za več kot polovico, je ta površina ostala opredeljena kot pozidana. Površine centroidov, ki so sovpadale s površino voda, smo izločili.

Vektorskim podatkom cest smo dodali uradne površine koridorjev: avtocestam koridor širine 20 m, magistralnim cestam koridor širine 17 m, regionalnim cestam koridor širine 15 m in lokalnim cestam koridor širine 12 m. Tako izdelano cestno omrežje smo shranili kot samostojni sloj in pri izdelavi GIS-a uporabili kopijo. Na njej se je zaradi izločanja površin cest pod predori prekinilo cestno omrežje. Sloja regionalnih in lokalnih cest smo uporabili le v pomurski in podravske statistični regiji in deloma v dolenski in obalno-kraški regiji. Dvojne površine na križiščih, nadvozih in podvozih smo prečistili, izločili smo površine cest pod tuneli, iz površin cest pa po združevanju s predhodnimi sloji izločili površine gozda, voda in centroidov hiš.

Vektorskim podatkom železnic smo dodali 16 m širine uporabnega koridorja in dodali obrise postaj. Na kopiji tega sloja smo izločili površino pod tuneli in po združevanju z izdelanim GIS-om pokrovnosti/rabe tal iz površin železnic izločili površine gozdov, voda, centroidov hiš in cest. Na posameznih odsekih, pretežno na strminah, kjer so se koridorji cest in železnic prekrivali za več kot polovico, smo oba koridorja razmaknili v priležna poligona.

Površine deponij, odpadnih voda, kamnolomov in odprtih peskokopov so bile opredeljene le tam, kjer smo jih lahko nedvoumno določili po značilnih odbojnih vrednostih satelitsko skeniranih podatkov. Kartografsko so ti pojavi opredeljeni kot samostojna kategorija, v tabelarnih rezultatih pa skupaj s solinami združeni v skupni razred "neopredeljeno".

Preostale površine smo na osnovi odbojnih vrednosti satelita opredelili v kategorijo "kmetijsko". Ta kategorija pokrovnosti tal vsebuje še pretežni del površin v zaraščanju ter pri naseljih z manj kot 10.000 prebivalci pozidane površine večjih objektov, kmetijskih obratov ter peskokope, odlagališča itd. Razen pri pomurski statistični regiji in deloma pri

| Kategorija | pokrovnost/raba tal | | fotointerpretacija ¹⁾ | |
|-------------|---------------------|----|----------------------------------|----|
| | ha | % | ha | % |
| Gozd | 2466 | 23 | 2515 | 23 |
| Kmetijsko | 7436 | 69 | 6749 | 63 |
| Nerodovitno | 883 | 8 | 1521 | 14 |
| Skupaj | 10785 | | 10 785 | |

Preglednica 4: Ocena pokrovnosti/rabe tal 21 k.o. območja Savinjske doline po dveh metodah (¹⁾referenčni podatek).

| Kategorija | hektarji | | |
|-------------|-------------------------|-------------------|------------------|
| | GIS | Uradna Statistika | koropletna karta |
| Gozd | 1,145.003 | 1,020.060 | 1,226.132 |
| Kmetijsko | 770.131 | 861.992 | 670.404 |
| Nerodovitno | 112.147 | 143.344 | 130.777 |
| Skupaj | 2,027.277 ¹⁾ | 2,025.396 | 2,027.313 |

Preglednica 5: Pokrovnost/raba tal Slovenije v letu 1993, ocenjena po treh metodah (¹⁾ uradna površina Slovenije po RTE/GZ: 2 027 245 ha).

dolenjski ter obalno-kraški statistični regiji so v to kategorijo zajete še površine regionalnih in lokalnih cest. Zaradi časovne stiske, ki je nastala ob popravljanju in čiščenju prejetih georeferenciranih slojev, smo opustili zamisel, da še podrobneje opredelimo kmetijske površine.

2.1 Preverjanje rezultatov

Iz GIS-a pokrovnosti tal smo izločili območje 21 katastrskih občin Savinjske doline, za katero imamo za isto leto izdelano fotointerpretacijo letalskih posnetkov (1 : 17.500) v razrede rabe tal. Podatke fotointerpretacije smo združili v kategorije pokrovnosti/rabe tal, ki ustrezajo kategorijam GIS-a pokrovnosti/rabe tal (preglednica 4).

Primerjava rezultatov statističnega GIS-a pokrovnosti/rabe tal z referenčnimi podatki fotointerpretacije potrjuje opredelitve pojavov v posamezne kategorije pokrovnosti/rabe tal. Pri tem je potrebno še enkrat poudariti, da se je GIS pokrovnosti/rabe tal izdelal za celo Slovenijo na podlagi, ki ima ločljivost 30 m x 30 m v enem letu. Fotointerpretacija le tega območja pa je bila izdelana iz letalskih posnetkov merila 1 : 17.500 v šestih mesecih.

Dodatno smo med seboj primerjali še tri vire določevanja pokrovnosti/rabe tal Slovenije:

- statistični GIS pokrovnosti/rabe tal Slovenije-stanje'93,
- uradne statistične podatke za Slovenijo iz leta 1993,
- rezultate koropletna karte pokrovnosti tal Slovenije, stanje 1993.

Primerjava podatkov statističnega GIS-a pokrovnosti/rabe tal Slovenije z uradnimi statističnimi podatki je omejena le na primerjavo tabeliranih vrednosti in ne tudi lokacij opredeljenih kategorij. Rezultati koropletna karte Slovenije potrjujejo trend spremenjenih

strukturnih deležev kategorij GIS-a pokrovnosti/rabe tal.

Iz razpredelnice 5 je razvidno, da je po oceni statističnega GIS-a 6 % več površin pod gozdom, kot jih izkazujejo uradne statistike. Gozdne površine v statističnem GIS-u pokrovnosti/rabe tal ne vključujejo vseh površin v zaraščanju.

Delež kmetijskih površin je za 4 % nižji od uradnih statistik. Kmetijske površine so v statističnem GIS-u pokrovnosti tal še vedno precenjene, ker zajemajo tudi pretežni del površin v zaraščanju, deloma pozidane površine industrijskih objektov, kmetijskih obratov, peskokope itd. Razen pri prekmurski regiji in deloma pri dolenski in obalno-kraški statistični regiji zajemajo tudi površine regionalnih in lokalnih cest.

Kategorija nerodovitnih površin je v statističnem GIS-u pokrovnosti tal podcenjena, ker ne vključuje vseh pozidanih površin, površin kamnolomov, peskokopov, deponij itd. Ti podatki bodo izločeni z uporabo satelitsko skeniranih podatkov manjše ločljivosti od 30 m in s pomočjo uporabe avionskih posnetkov ali preverbo na terenu.

3. Izdelava statističnega GIS-a pokrovnosti/rabe tal Slovenije, stanje '97

Na osnovi izkušenj, pridobljenih z izdelavo statističnega GIS-a pokrovnosti/rabe tal Slovenije za stanje leta 1993 smo se v sodelovanju z CESD in Eurostatom odločili, da:

- obstoječi statistični GIS ažuriramo na stanje 1997,
- bolj natančno izrišemo meje kategorij pokrovnosti/rabe tal,
- ocenimo vsebinsko kvaliteto izdelanega statističnega GIS-a,
- ocenimo pozicijsko kvaliteto izdelanega statističnega GIS-a.

Zaradi bolj podrobne in bolj natančne izdelave statističnega GIS-a pokrovnosti/rabe tal ter zaradi dodatnega dela pri oceni kvalitete izdelka smo se odločili, da bomo delo izvedli v nekaj letih. V prvem letu je predvidena izdelava tretjine vzhodne Slovenije.

Za izdelavo statističnega GIS-a pokrovnosti/rabe tal Slovenije, stanje '97 bomo uporabili iste podatkovne sloje, kot smo jih pri prvem GIS-u, le da bodo vsi sloji ažurirani na stanje 1997. Poleg teh podatkov, bomo uporabili še:

- Serijo **Landsat-TM/97** podatkov.
- Za vse scene, kjer bomo pridobili dovoljenje, bomo uporabili tudi **ortorektificirane podatke Spot-Pan** scen, velikosti 40 x 50 km. Ti podatki so poravnani z natančnostjo, ki bi Spot-Imagu omogočila izdelavo 20 m digitalnega modela terena z decimetersko natančnostjo.
- Od Geodetske uprave RS **digitane ortofoto** načrte v merilu 1 : 5.000 in digitalne ortofoto karte v merilu 1 : 25.000, ločljivost teh podatkov je 0,5 m za Dof5 in 2 m za Dof25, ti podatki so izdelani za del Slovenije, preostali del je še v izdelavi (<http://www.sigov.si/GIC/>).

Podatke satelita Landsat-TM/97 bomo georeferencirali na podatke Landsat-TM/93 z RMS napako manjšo kot polovico piksla (< 15m) in območja, ki bodo pokrita tudi s podatki Spot-Pan, satelita bodo ponovno georeferencirana na te ortorektificirane podatke z spremenjeno velikostjo slikovnega elementa na 10 m. Prva dva kanala valovnih dolžin vidnega območja elektromagnetnega valovanja na satelitu Landsat-TM/97 bomo nadomestili s Spot-Pan podatki.

S kontrolirano klasifikacijo bomo najprej opredelili površine gozdov, z glajenjem izločili vse tiste površine gozdov z ≥ 10 pikslov ($\geq 0,1$ ha) in rastrsko datoteko pretvorili v

vektorsko. S tem bomo dobili meje gozdnih površin. Ostale kategorije in razrede pokrovnosti/rabe tal bomo opredeljevali z uporabo georeferenciranih slojev podatkov. Kot referenčni podatek bomo privzeli stanje, ki sta ga skenirala satelit Landsat-TM/97 in Spot-Pan. Ti podatki bodo tudi osnova za digitalizacijo mask večjih pozidanih površin, katerih površina bistveno presega 20 m polmer okoli centroida. Za podatke kamnolomov in peskokopov si še prizadevamo pridobiti uradne podatke, prav tako tudi za podatke odlagališč.

Oceno kvalitete izdelka bomo izvedli na osnovi sistematično razporejenih ploskovnih vzorcev velikosti 500 m x 500 m. Ti bodo postavljeni v središče listov TK 25 in preneseni na karte merila 1 : 5000. Ti segmenti se bodo ažurirali ali z letalskimi posnetki ali pa na terenu in digitalizirali. Ti digitalizirani podatki bodo referenčni podatki, na katere bomo primerjali ista območja iz izdelanega statističnega GIS-a. Izračunali bomo povprečni odklon s standardno napako razlik v lokacijah obrisov. Vsebina vsake kategorije pokrovnosti ali razreda rabe tal bo ocenjena s statistično napako I. ali II. reda oziroma z napako a ali b.

4. Analiza časovnih sprememb pokrovnosti/rabe tal Slovenije, 1993-97

Analizo časovnih sprememb pokrovnosti/rabe tal Slovenije bomo izvedli na dveh serijah Landsat-TM podatkov: podatkov iz leta 1993 in podatkov iz leta 1997. Oba georeferencirana mozaika se bosta prilegala z napako RMS manjšo od enega slikovnega elementa (≈ 30 m). Z predhodno uporabljenim metodo analize glavne osi variabilnosti bomo za obdelavo izbrali le tiste skupne kanale, ki bodo vsebovali največ čistih odbojnih vrednosti, to je tistih podatkov, ki ne bodo obremenjeni z atmosferskimi vplivi. Razlike v odbojnih vrednostih pojavov na površini zemlje pa so lahko posledica:

- napake georeferenciranja,
- kota skeniranja,
- fenološke faze rasti vegetacije in spremenjene kmetijske kulture,
- spremenjene pokrovnosti/rabe tal.

Napake georeferenciranja bodo razvidne zaradi vidnih vzporednih robov pojava in bomo njihovo lokacijo popravljali s pomočjo letalskih posnetkov. Različen kot skeniranja med priležnimi Landsat-TM 93 in 97 scenami se loči za največ 4'' in je pri ločljivosti 30-tih metrov zanemarljiv. Vpliv spremenjenih fenoloških faz rasti in spremenjenih kmetijskih kultur bo možno zadovoljivo opredeliti s terenskimi podatki, ki so bili pobrani v času preletov satelita nad Slovenijo. Spremenjeno pokrovnost rabe tal pa bo možno s podatki satelita določiti tam, kjer je sprememba velika vsaj 3x3 piksle.

Analizo časovnih sprememb pokrovnosti/rabe tal bomo izvedli na klasificiranih Landsat-TM podatkih. Vsako serijo podatkov bomo obdelali posebej in z prelaganjem ter presevanjem dobljenih rezultatov klasifikacije zaznali spremenjeno pokrovnost/rabo tal. Končni rezultat klasifikacije bo karta površin z opredeljeno spremembo pokrovnosti/rabe tal in tabela dinamike sprememb posameznih kategorij pokrovnosti ali razredov rabe tal v časovnem obdobju med letoma 1993 in 1997.

5. Uporabljena oprema

- Silicon Graphics, INDIGO² Grafična delovna postaja iz 1996 leta z:
 - 256 MB sistemskega pomnilnika,
 - 20'' barvnim zaslonom,

- 2 GB SCSI-II sistemskim trdim diskom,
- dodatnim 4 GB SCSI-II trdim diskom,
- IRIX NFS za IRIX 5.3 program na CDROM,
- programsko opremo: ERDAS-IMAGINE 8.2 in ERDAS-IMAGINE 8.3.
- SunSparc 1+ grafična postaja iz 1991 leta z:
 - 19" barvnim monitorjem,
 - 38 MB pomnilnika,
 - 104 Mb SCSI notranjim diskom,
 - 2x4 Mb razširjenim glavni, pomnilnikom, razširjenim na 1.3 G,
 - O.S 4.1.3,
 - programsko opremo: ERDAS 7.40.41 in ARC/INFO 5.0.1 z Live link.
- Zunanje enote:
 - digitalna plošča A1- Houston Instruments HIPAD 9236,
 - risalnik A1 Houston Instruments DMP61/MP80 HPGL jezik.

Literatura in viri

- Bronge, L. B. 1998: *Vegetation mapping using satellite and topographic map data in a stratified approach: Method development and application. Future trends in Remote Sensing, Gudmandsen (ur.)*.
- Epstein E. F., Hunter, G. J., Agumya, A. 1988: *Liability insurance and the use of geographic information. Int. J. Geographical Information Science, Vol.12, No.3.*
- Jansen, L. J. M., DiGregorio, A. 1998: *The problems of current classifications: development of new approach. European Commission, Land cover and land use information systems for European Union policy needs; International seminar. Luxembourg.*
- Lojović, E. H., Tretjak, A., Šabić, D. 1998: *Land Cover/Land Use GIS of Slovenia with Land Cover Change Detection 1993:97. Action plan with project documentation for 1998-2001, Phare-COP'98 funding.*
- Šabić, D., Lojović, E. H., Tretjak, A. 1998: *Land Cover GIS of Slovenia - state of 1993, Report. Digitalni podatki dosegljivi na trakovih DAT v zapisu img in e00.*
- Sabić, D., Lojović, E. H., Tretjak, A. 1998: *GIS pokrovnosti tal Slovenije. Statistične Informacije, št. 42.*
- Šabić, D., Tretjak, A., Perdigao, V. 1995: *MARS 1994, Regional inventroy Slovenia, Ground Survey, Yield Survey. JRC-Ispra and SORS, Contract No: 10371-94-07 FIED ISP SLO.*

IZDELAVA MODELA VIŠIN Z RADARSKO INTERFEROMETRIJO

mag. Krištof Oštir
Znanstvenoraziskovalni center SAZU
Gosposka 13, Ljubljana
kristof@alpha.zrc-sazu.si

Izvleček

UDK 528.77:621.396.96:629.783

Radarska interferometrija je sorazmerno nova tehnika, s katero lahko iz parov radarskih satelitskih posnetkov pridobivamo visokoločljive podatke o zemeljski površini. Najpomembnejše področje njene uporabe je izdelava digitalnih modelov višin, še posebej na območjih, ki so s "klasičnimi" metodami slabo izmerjena. Natančnost, ki jo pri tem dosežemo, je približno deset metrov v vodoravni (x, y) in nekaj metrov v navpični (z) smeri. Z uporabo diferencialne metode, pri kateri primerjamo tri ali več podob, lahko opazujemo majhne premike tal in druge časovno odvisne spremembe na površju. Tudi ta metoda je zelo natančna, saj z njo zaznavamo premike velikostnega reda centimeter in manj.

Zaradi neodvisnosti od vremena, dobre časovne in prostorske pokritosti ter nizke cene se je interferometrija v zadnjih nekaj letih uveljavila kot orodje številnih znanstvenikov. Uporabljajo jo pri študijah reliefa, v hidrologiji in ekologiji, pri opazovanju vulkanov in raziskavah potresov, pri merjenjih premikov ledenikov in določanju hitrosti njihovega taljenja in tako dalje. Ključne besede: radar, interferometrija, digitalni model višin

Abstract

UDC 528.77:621.396.96:629.783

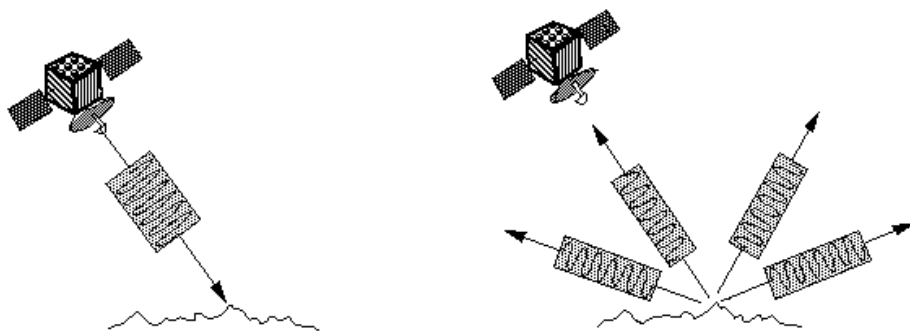
Elevation model generation by means of radar interferometry

Radar interferometry is relatively new technique, which can be used to obtain high resolution Earth surface data from radar satellite images. Its most promising application field is the production of digital elevation models, especially in areas not well covered with the "classical" methods. The resolution achieved using this technique is approximately ten meters in horizontal (x, y) and a few meters in vertical (z) direction. By applying the differential method and comparing three or more images, very small ground displacements and other temporal changes on Earth surface can be measured. This method is also very sensitive and can detect changes in order of centimeter or even less.

Independence of weather conditions, good temporal and spatial coverage and low cost are main reasons why radar interferometry in last few years became an useful tool of many scientists. It is used for elevation studies, in hydrology and ecology, for vulcano monitoring, earthquake observations, for detection of glacier motions and determination of their melting speed etc. Key words: radar, interferometry, digital elevation model

1. Uvod

Satelitski posnetki so pomemben vir podatkov o človekovem okolju, zato jih vse bolj in bolj uporabljamo tako v naravoslovju kot tudi v humanistiki in družboslovju. Vedno več prostorskih raziskav uporablja kot enega od vhodnih podatkov podobe, zaznane iz vesolja. V preteklosti so se uveljavili predvsem optični satelitski posnetki, ki vsebujejo podatke iz vidnega in infrardečega dela spektra, v devetdesetih letih pa so se začeli uveljavljati tudi radarski posnetki. Razlog za to so njihove ugodne lastnosti, predvsem neodvisnost od



Slika 1: Radar proti površini usmeri impulz in meri njegov odboj.

atmosferskih pojavov in možnost snemanja neodvisno od sončne svetlobe, tako podnevi kot ponoči.

Število satelitov z radarskimi instrumenti se je v zadnjih nekaj letih močno povečalo in vse kaže, da bomo podobni rasti priča tudi v prihodnje. Najpomembnejši med trenutno delujočimi so ERS1, ERS2 (European Remote Sensing Satellite, Evropa), JERS1 (Japanese Earth Resources Satellite, Japonska) ter RADARSAT (Radar Satellite, Kanada).

2. Radarski posnetki

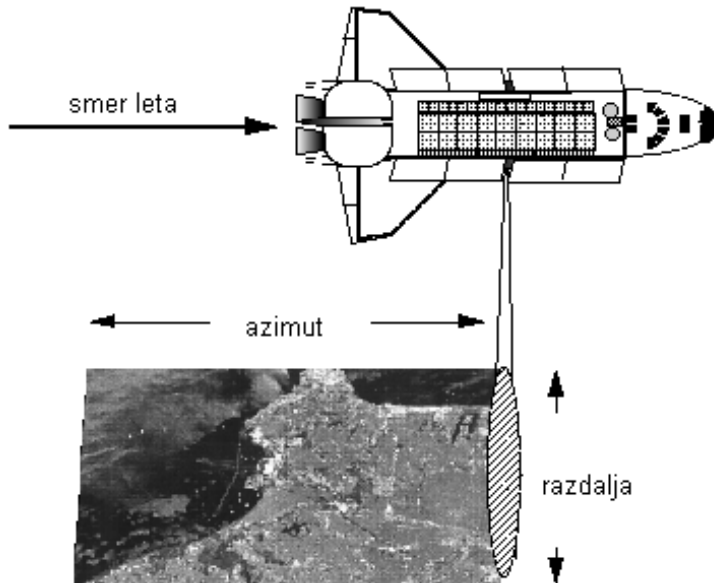
Snemanje z radarjem močno spominja na fotografiranje z bliskavico, saj z mikrovalovnim elektromagnetnim valovanjem "osvetlimo" območje na zemeljski površini in naredimo njegovo "sliko" (slika 1; Freeman 1996). Fotoaparati z bliskovno lučjo povsem enako pošlje svetlobni impulz, nato pa na film zabeleži njegov odboj. Namesto kamere, leč in filma uporablja radar antene in računalniške medije, ki zaznavajo in zapisujejo podobe. *Radar* (RADio Detection and Ranging, radijsko zaznavanje in določanje razdalje) meri jakost mikrovalovnega signala, ki ga izseva njegova antena in odbijajo oddaljene površine oziroma predmeti na njih. Radarska antena v določenih časovnih presledkih oddaja in sprejema impulze, ki imajo značilno valovno dolžino in polarizacijo. Valovne dolžine (λ) so ponavadi v območju med 1 cm in 1 m, kar ustreza frekvenci (ν) med 300 MHz in 30 GHz, valovi pa so polarizirani v navpični ali vodoravni ravnini. Značilni radar odda proti tarči oziroma območju, ki ga snema, vsako sekundo kakih tisoč visokoenergijskih impulzov, trajajočih nekaj deset mikrosekund (do 50 μ s).

Na zemeljski površini se energija mikrovalovnega impulza siplje v vse smeri, torej tudi nazaj proti anteni. To, tako imenovano povratno sipanje, se v obliki šibkega odmeva vrne do sprejemne antene. Zaznani signali se nato pretvorijo v digitalno obliko in zapišejo na računalniški trak ali sorodni medij. Ker radarsko valovanje potuje s hitrostjo svetlobe – to pa dobro poznamo – lahko z merjenjem časa od oddaje do sprejema impulza zelo natančno določimo razdaljo do predmeta na površini Zemlje (Freeman 1996; Oštir et al. 1996).

Jakost odbitega valovanja določa več dejavnikov, med katerimi so najpomembnejši:

- krajevni vpadni kot,
- razgibanost terena ter
- prevodnost in dielektričnost zemeljskega površja.

Posnetki, dobljeni v vidnem in infrardečem delu elektromagnetnega spektra, se od



Slika 2: S premikanjem nosilca in s tem odtisa na površini ustvarimo radarsko podobo.

radarskih močno razlikujejo. Razlogov za to je kar nekaj, glavni pa je nedvomno različen način sodelovanja mikrovalov oziroma vidne svetlobe z zemeljskim površjem. V območju radarskih valov je lastno sevanje zemeljskega površja zelo šibko. Z občutljivimi instrumenti ga sicer lahko zaznamo, vendar si z njim ne moremo kaj dosti pomagati in ga v večini primerov lahko zanemarimo. Vsi radarski sistemi so namreč opremljeni s sorazmerno močnim lastnim virom valovanja (anteno), ki osvetli del Zemlje in nato meri odboj svetlobe na njem (tako delovanje imenujemo aktivno). Zaradi geometrije radarskega snemanja (radar bočnega pogleda) imamo pri tovrstnih posnetkih težave s sencami in prevračanjem. Poleg tega pa se ne moremo izogniti *zrnatosti* – značilnemu mikrovalovnemu šumu.

Sistemi, ki delujejo v vidnem in infrardečem delu spektra, opazujejo zemeljsko površje pasivno. To pomeni, da zaznavajo odbito sončno svetlobo oziroma lastno sevanje predmetov na Zemlji. Njihova zgradba je zato preprostejša, saj so energijsko precej manj požrešni in ne potrebujejo zapletenih sistemov za sprotno obdelavo podatkov iz njihovih senzorjev. Valovne dolžine, s katerimi imamo opravka v tem delu spektra, so velikostnega reda mikrometer (od približno pol do dobrih deset). Na jakost odbite vidne svetlobe vpliva veliko različnih elementov, recimo vlažnost in razgibanost površja, njegova kamninska sestava, količina in vrsta prsti na njem, stopnja vsebnosti klorofila v rastlinah in tako dalje. Šum v tem delu spektra ni izrazit in pri obdelavah ne predstavlja večje ovire. Zaradi razpršene svetlobe in večkratnih odbojev sence na optičnih posnetkih niso povsem temne. V njih lahko dobimo sorazmerno veliko podatkov.

Optični instrumenti so praviloma spektralno bolj občutljivi od radarskih, saj skoraj vedno opazujejo površje Zemlje v več pasovih. Ponavadi gre za nekaj različnih barv vidne svetlobe ter bližnji, srednji in daljni del infrardečega spektra. Radarski sistemi pa imajo le redko več kot eno frekvenco ali polarizacijo. Ker se svetloba vidnega in infrardečega dela spektra na poti skozi atmosfero močno siplje in absorbira, so snemanja v omenjenem

| | posnetki vidnega in bli njega infrardečega spektra | termični infrardeči posnetki | navidezno odprtinski radarski posnetki |
|-------------------------------|---|-------------------------------------|---|
| Valovna dolžina (λ) | 0,4 - 2,2 μm | 10 - 12 μm | 3 - 60 cm |
| Ločljivost | 5 - 80 m | približno 100 m | 10 - 100 m |
| Tip sensorja | pasiven | pasiven | aktiven |
| Izvor sevanja | sonce | črno telo | radar |
| Geofizikalni parametri | albedo | temperatura | dielektričnost, geomorfologija, elastičnost |
| Prodiranje skozi oblake | ne | ne | da |
| Prodiranje v prst | ne | ne | da |
| Prodiranje skozi vegetacijo | ne | ne | da |
| Prodiranje skozi vodo | da | ne | ne |
| Odvisnost od sončnega sevanja | da | ne | ne |
| Um/zrnatost | nizka | nizka | visoka |
| Geometrični učinki | (ne) | (ne) | da |
| Začetek obratovanja | v 70. letih | v 80. letih | v 90. letih |

Preglednica 1: Primerjava lastnosti optičnih, infrardečih in radarskih satelitskih posnetkov.

območju zelo odvisna od vremenskih razmer (oblačnosti, megle, padavin in tako dalje). Posnetki v optičnem delu spektra so povsem neuporabni, kadar je oblačnost prevelika, medtem ko na radarskih podobah v tem primeru le izjemoma opazimo nepravilnosti.

Radarski sistemi imajo zaradi aktivnega načina delovanja še eno prednost – Zemljo lahko opazujejo tako podnevi kot tudi ponoči. Optične in radarske posnetke uporabljamo za pridobivanje povsem različnih podatkov o zemeljskem površju. Vendar to še zdaleč ne pomeni, da jih pri študijah strogo ločujemo. Nasprotno, najboljše rezultate dobimo prav z združevanjem informacij obeh vrst senzorjev, bodisi pred obdelavo, v obliki transformacij v barvnem prostoru, ali po njej, s primerjanjem rezultatov analiz. Tako namreč izkoristimo spektralno barvitost optičnih podob in vremensko neobčutljivost mikrovalovnih (Oštir et al. 1996).

3. Radarska interferometrija

Radarska interferometrija je sorazmerno nova tehnika, s katero lahko iz parov radarskih satelitskih posnetkov pridobivamo visokoločljive podatke o zemeljski površini. Najpomembnejše področje njene uporabe je izdelava digitalnih modelov višin, še posebej na območjih, ki so s "klasičnimi" metodami slabo izmerjena. Natančnost, ki jo pri tem

dosežemo, je približno deset metrov v vodoravni (x , y) in nekaj metrov v navpični (z) smeri. Z uporabo diferencialne metode, pri kateri primerjamo tri ali več podob, lahko opazujemo majhne premike tal in druge časovno odvisne spremembe na površju. Tudi ta metoda je zelo natančna, saj z njo zaznavamo premike velikostnega reda centimeter in manj. Pri umetno odprtinski radarski interferometriji (INSAR) poleg običajnih podatkov o amplitudi odboja radarskih valov uporabljamo tudi njihovo fazo. Z opazovanjem kompleksnih radarskih posnetkov lahko namreč:

- pridobivamo podatke o višinah za ustvarjanje topografskih kart (absolutna natančnost je pet metrov ali manj),
- merimo z diferencialno metodo zelo majhne (centimeter ali celo manj) relativne premike zemeljskega površja,
- opazujemo površinske vodne tokove (z natančnostjo približno pet centimetrov na sekundo) in
- določamo tipe tal (Massonet, Rabaute 1993).

Prvič so radarsko interferometrijo uporabili pri opazovanju Venere in Lune že leta 1969, prva poročila o določanju višin z radarjem pa je leta 1974 objavil Graham. Deset let kasneje je Jet Propulsion Laboratory (JPL), ki deluje v okviru ameriške vesoljske agencije NASA, pričel z interferometričnimi radarskimi merjenji na sistemih Convair990 (letalo). Praktične rezultate opazovanj s tem radarjem bočnega pogleda sta leta 1986 predstavila Goldstein in Zebker, ki sta na omenjeno letalo namestila dve anteni v medsebojni razdalji 11 m. V devetdesetih letih se je zanimanje za interferometrijo SAR močno povečalo, predvsem zaradi velikega števila uporabnih podatkov, ki jih je od julija 1991 posredoval satelit ERS1, kasneje pa tudi drugi sistemi, recimo AIRSAR, ERS2, JERS1 in RADARSAT. Znanstveniki so se zadnjih nekaj let v glavnem ukvarjali s teoretičnim ozadjem tehnike, njeno občutljivostjo na razne vplive in kakovostjo rezultatov, ki jih daje. Danes interferometrijo razumemo, zavedamo se tudi njenih prednosti in slabosti, težišče raziskav pa se počasi premika v praktično uporabo na najrazličnejših področjih.

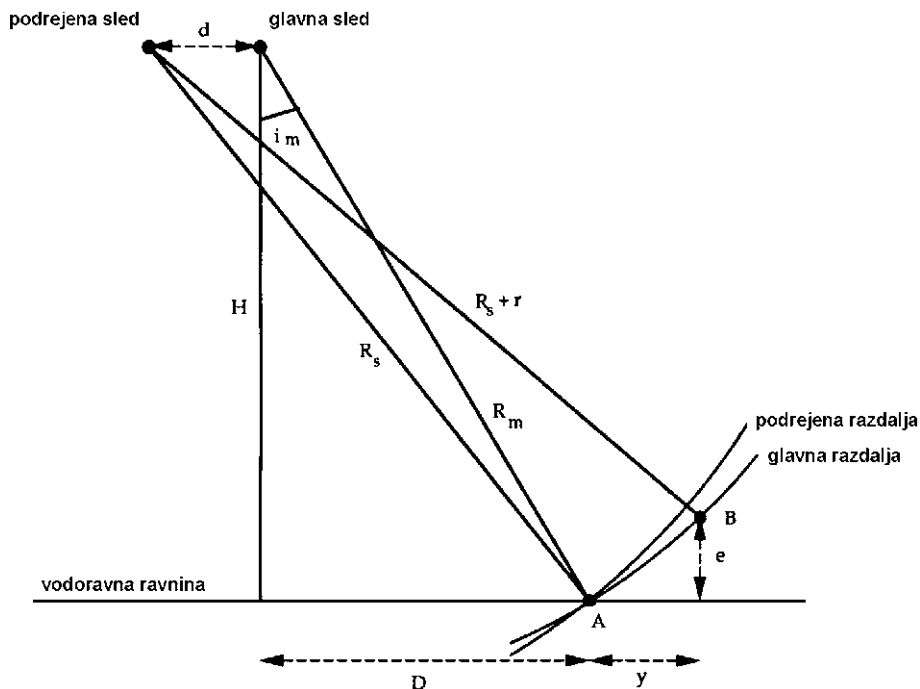
4. Izdelava modela višin

Preden se lotimo matematičnega ozadja interferometrije, omenimo, da se višine, dobljene z interferometrijo, razlikujejo od višin na "običajnih" kartah. Radarski satelitski posnetki namreč podajajo geometrično višino (nad referenčnim elipsoidom), medtem ko karte podajajo gravimetrično višino (nad fizičnim geoidom). Razliko med njima odpravimo tako, da dobljeni digitalni model višin vpenemo v sistem karte (Gens, Genderen 1996).

4.1. Matematično ozadje

Recimo, da imamo podobi, ki popolnoma zadoščata zahtevam interferometrije (dovolj majhna prečna razdalja med orbitama, majhne spremembe odbojnosti na zemeljskem površju med snemanjem; Massonet, Rabaute 1993). Eno od njiju uporabimo kot geometrijsko referenco, imenujmo jo kar glavna ali primarna podoba, druga pa naj bo tej podrejena ali sekundarna. Vzemimo, da sta orbiti, iz katerih sta bili posneti, vzporedni in enako visoki (slika 3).

Slikovna elementa, ki sta enako oddaljena od radarja na glavni podobi, nista enako



Slika 3: Geometrija pri interferometriji SAR.

oddaljena tudi na podrejeni. S preprostim matematičnim izračunom lahko pokažemo, da je višina na zemeljskem površju neposredno povezana s fazno razliko med posnetkoma

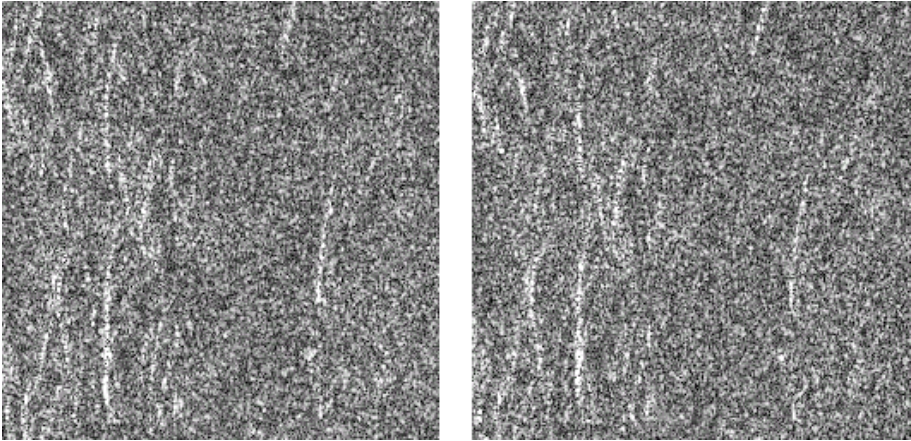
$$e \cong \frac{R_s \lambda \tan(i_o)}{2d} \frac{\phi}{2\pi} = e_a \frac{\phi}{2\pi}.$$

V gornjem izrazu je e_a nedoločnostna višina, to je višina, pri kateri je razlika poti žarkov obeh satelitov enaka valovni dolžini λ . Nedoločnostna višina pove višinsko razliko med dvema izofaznima črtama, če bi bila ta razlika posledica izključno višinske spremembe. V primeru, da poznamo njeno vrednost, lahko iz interferograma določimo višine za posamezne slikovne elemente z razvijanjem faze med pasovi. Pri satelitu ERS-1, na primer, bi nedoločnostna višina znašala 10 m, če bi bila razdalja med vzporednima orbitama enaka 100 m.

4.2. Postopek obdelave podob

Postopek same izdelave interferograma je, kljub dokaj preprosti teoretični podlagi, sorazmerno zapleten. V grobem ga lahko razdelimo na nekaj osnovnih korakov (Rufino, Moccia 1996; Massonet, Rabaute 1993):

- izbira in priprava para posnetkov,
- koregistracija podob,
- računanje interferograma,
- odstranjevanje faze ravnega terena in
- glajenje interferograma.



Slika 4: Amplitudi para posnetkov satelita ERS-1 (merilo je približno 1:100.000).

Preden se lotimo računanja interferograma, moramo *poiskati* ustrezne pare posnetkov. Pri izbiri para podob se moramo zavedati tako teoretičnih, kot tudi praktičnih omejitev. Osnovna razdalja, to je prečna razdalja med orbitama satelitov, ne sme biti premajhna niti prevelika, posnetka pa se morata prekrivati v delu, ki nas zanima. Kljub navidez “dobri” izbiri pa lahko naletimo na težave, ki so posledica močno različnih vremenskih razmer v času zajetja podob.

Zelo pomemben in hkrati zapleten korak pri izdelavi interferograma je natančna *koregistracija podob*. Že bežen pogled posnetkov s slike 4 pove, da omenjenega postopka ne moremo opraviti “ročno” ali “na oko”. Natančnost, ki jo moramo doseči, je namreč pod velikostjo piksla – ponavadi okoli 1 m, kar je skoraj tridesetina velikosti slikovnega elementa v primeru satelitov ERS (Kenya et al. 1996). Poravnavanje posnetkov poteka v dveh korakih: najprej podobi grobo preložimo drugo prek druge, nato pa opravimo še drobno – natančno – koregistracijo. Medtem ko prvo prelaganje poteka v amplitudnem prostoru (gledamo samo svetlost posnetkov), drugo izvršimo v faznem prostoru in torej upoštevamo realne in kompleksne vrednosti izbranih pikslov.

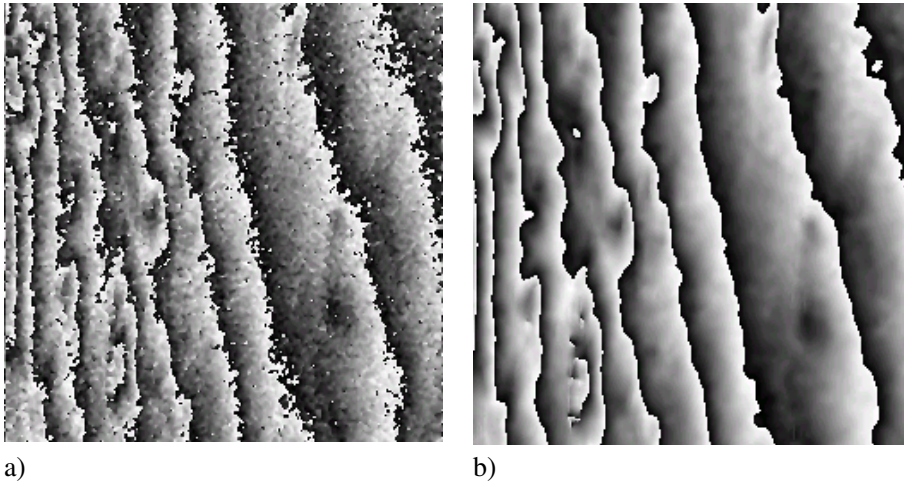
Računanje interferograma je najpomembnejši korak celotne obdelave, ki pa ni zahteven niti računsko ni pojmovno. Gre namreč za množenje ene podobe s kompleksno konjugirano vrednostjo druge ali, če zapišemo z eksponentnim in običajnim zapisom kompleksnih števil

$$A_1 e^{i\phi_1} = (A_1 e^{i\phi_1})^* A_2 e^{i\phi_2} = A_1 A_2 e^{i(\phi_2 - \phi_1)},$$

$$a_1 + b_1 = (a_1 + b_1)^* (a_2 + b_2) = a_1 a_2 - b_1 b_2 + i(a_1 b_2 + b_1 a_2)$$

Kot lahko vidimo v prvi enačbi, je amplituda interferograma produkt amplitud posnetkov, njegova faza pa je razlika njunih faz. Opisani računski postopek poteka sorazmerno hitro. Pred nadaljnjo uporabo pa moramo dobljeni “surovi” interferogram še dodatno obdelati. Glavni opravili pri tem sta glajenje interferograma in odstranjevanje faze ravnega terena.

Surovi interferogram je, tako kot oba začetna posnetka, še vedno v geometriji radarja bočnega pogleda. Z drugimi besedami – dobljena podoba vsebuje tudi tako imenovano *fazo ravnega terena* oziroma fazni vzorec, ki bi ga satelit zaznal tudi v primeru, če bi



Slika 5: Interferogram z odstranjeno fazo ravnega terena a) in zglajen interferogram b) (merilo je približno 1:125.000).

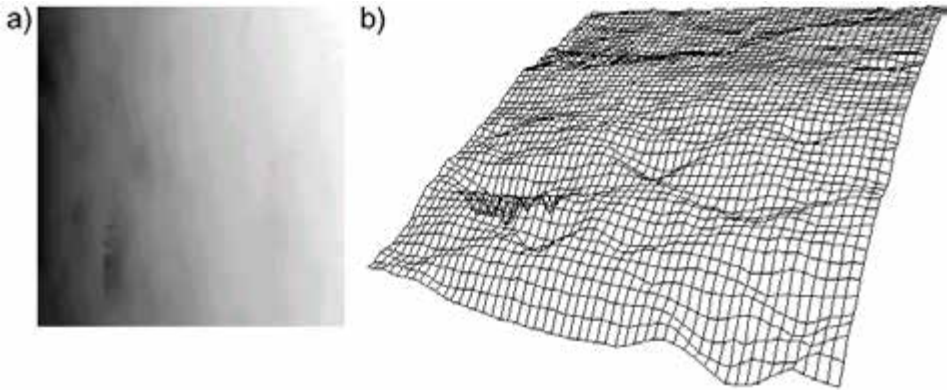
opazoval ravnino. Omenjeno dejstvo razumemo in nas pojmovno ne moti, vendar veliko število kolobarjev na posnetkih povzroči neprijetnosti pri nadaljnjih obdelavah, zato se moramo faze ravnega terena znebiti.

Kot lahko vidimo na sliki 5 a), je interferogram z odstranjeno fazo ravnega terena še zelo "šumeč", zato ga moramo še nekoliko *zgladiti*. Postopek ponavadi opravimo z nizkoprepustnim filtriranjem Fourierjevega obrata podobe. Na ta način se znebimo visokofrekvenčnih delov na posnetku, ki ponavadi predstavljajo šum, seveda pa, kot pri vsakem filtriranju, izgubimo del informacije. Zglajen interferogram je prikazan na sliki 5 b).

Interferogram je vir podatkov pri različnih prostorskih študijah (v geotektoniki, glaciologiji, ekologiji in tako dalje), zelo pogosto pa ga uporabljamo samo kot vmesni korak pri izdelavi modela višin. Tega iz interferometrične podobe dobimo z odpravljanjem fazne nedoločenosti ali tako imenovanim *obračanjem* oziroma *razvijanjem faze* (phase unwrapping).

Faze, ki jih dobimo pri kompleksnih posnetkih, so nedoločene do faktorja 2π , zato moramo razlike med kolobarji integrirati (seštevati) in tako določiti "absolutno" fazo. Postopek ponavadi poteka tako, da iz piksla z znano fazo določamo vrednosti v sosednjih pikslih. Dobljeni rezultati seveda niso natančno določeni, saj bi morali pri računih upoštevati fazo začetnega piksla, ki pa je ne poznamo. Vendar ta ne predstavlja nikakršne ovire, ker je pri nadaljnjih računih ne potrebujemo. V splošnem obrnjena faza že kaže obliko terena.

Sorazmerno natančni modeli višin, dobljeni z interferometrično obdelavo posnetkov in dobri rezultati interferometrije nasploh so znanstvenike opogumili, da so se lotili tudi tako imenovane *diferencialne interferometrije*. Pri tej z opazovanjem treh ali več radarskih posnetkov zaznavamo majhne premike zemeljska površja (velikostnega reda nekaj milimetrov), ki jih, na primer, opazimo pri tektonskem delovanju, drsenju plazov in ledenikov. S tem se odprejo skoraj neslutene možnosti uporabe interferometrije v geotektoniki, glaciologiji in drugih vedah.



Slika 6: Razvita faza a) in perspektivni pogled modela višin b) para posnetkov ERS (merilo je približno 1:150.000).

5. Sklep

Radarska interferometrija je tehnika, s katero lahko usvarjamo sorazmerno natančne digitalne modele višin in podobe premikov na zemeljskem površju. Absolutna natančnost, ki jo dosežemo pri DMV je nekaj metrov v navpični smeri in približno deset metrov v vodoravni. Z diferencialno metodo lahko zaznamo relativne premike površja velikostnega reda centimeter ali celo manj. Zaradi velike površine enega radarskega posnetka (v primeru satelitov ERS je to približno 100 krat 100 km) predstavlja interferometrija orodje, ki mu dosedaj ni bilo para. Brez dvoma je to eden od glavnih razlogov, da se je omenjena tehnika hitro uveljavlja v različnih raziskavah prostora.

Kljub imenitnim lastnostim, ki jih interferometrija ima, pa ne smemo pozabiti na njene omejitve. Trenutno je ena glavnih nedostopnost programske opreme za obdelavo kompleksnih radarskih podob. Ta je bodisi poceni, a le pogojno uporabna (ISAR, ESA), ali pa zelo draga (EarthView, Atlantis). Pričakujemo lahko, da se bo stanje v bližnji prihodnosti spremenilo, saj module za interferometrično obdelavo napovedujejo vsi večji proizvajalci opreme za obdelavo georeferenciranih podob (Erdas, PCI in drugi). Poleg tega bodo ponudniki satelitskih posnetkov v svoj program uvrstili tudi interferograme, tako delno kot v celoti obdelane. Evropska vesoljska agencija, na primer, testno že uporablja tako imenovani hitri procesor, ki iz parov "ugodnih" posnetkov v realnem času izdeluje interferograme, namenjene ogledu pred nakupom ali nezahtevnim študijam (Gatelli et al. 1996).

Interferometrije pri načrtovanju prvih radarskih satelitov niso imeli v mislih, vendar ta danes predstavlja eno najprivlačnejših možnosti uporabe njihovih posnetkov. Prav zato so razmišljanja o novem satelitskem sistemu, ki bi bil namenjen izključno interferometriji, vse prej kot sanje.

Literatura in viri

- Freeman, T. 1996: *What is Imaging Radar? Jet Propulsion Laboratory. Pasadena.* (<http://southport.jpl.nasa.gov/desc/imagingradarv3.html>)
- Gatelli, F., Monti Guarnieri, A., Prati, C., Rocca, F. 1996: *An Interferometric Quick-Look*

- Processor. Workshop on Applications of ERS-SAR Interferometry, University of Zürich. Zürich. (<http://www.geo.unizh.ch/rsl/fringe96/papers/gatelli-et-al/>)*
- Gens, R., Genderen van, J.L. 1996: SAR Interferometry—issues, techniques, applications. *International Journal of Remote Sensing*, 17, 10.
- Kenyi, L., Raggam, H. 1996: Accuracy assessment of interferometrically derived DTMs. *Workshop on Applications of ERS-SAR Interferometry, University of Zürich. Zürich. (<http://www.geo.unizh.ch/rsl/fringe96/papers/kenyi-raggam/>)*
- Koskinen, J. 1995: *The ISAR Interferogram Generator Manual. ESA-ESRIN. Rome.*
- Massonet, D., Rabaute, T. 1993: Radar Interferometry: Limits and Potential. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 31, 2.
- Oštir, K., Podobnikar, T., Stančič, Z. 1996: Uporaba radarskih satelitskih posnetkov v prostorskih znanostih. *Geodetski vestnik*, 40, 1.
- Rufino, G., Moccia, A. 1996: DEM Generation by means of ERS tandem data. *Workshop on Applications of ERS-SAR Interferometry, University of Zürich. Zürich. (<http://www.geo.unizh.ch/rsl/fringe96/papers/rufino-et-al/>)*

INTERNET GIS - GIS TEHNOLOGIJE PRIHODNOSTI

Aleš Štor

Ascent, sistemske integracije d.o.o.

Teslova ulica 30, Ljubljana

ales.stor@net.zaslon.si

Izvleček

UDK 681.324:659.2:91

Uporaba GIS tehnologij v svetu je bila v preteklosti zaradi določenih omejitev usmerjena predvsem na specialna področja v državni upravi, vojski in večjih gospodarskih združbah. V prihodnje pa bo GIS v povezavi z internetom odigral pomembno vlogo pri strategiji razvoja vseh nacionalnih gospodarstev. Internet GIS je namreč tehnologija, ki je zanimiva za najširši krog uporabnikov. Obravnava tako življenjski prostor posameznika kot tudi interesna področja gospodarskih družb ter ostalih. Čedalje več poslovnih odločitev, ki jih vsakodnevno sprejema management v podjetjih in organizacijah, namreč zahteva uporabo prostorsko povezanih podatkov v večni tekmi za tržišča, kupce...

Ključne besede: GIS, internet

Abstract

UDC 681.324:659.2:91

Internet GIS – GIS technologies for the future

Throughout the world GIS technologies used to be limited mainly to selected areas in state administration, armed forces and in major commercial organisations in the past. In the future, however, the GIS in combination with the Internet will play a major role in the development strategy of all national economies, since it is interesting for the broadest group of users. It encompasses both an individual's living environment and fields of interest for commercial companies and others. An increasing number of business decisions adopted by the management in companies and other organisations on a daily basis requires the utilisation of spatially linked data in the eternal competition for new markets and customers...

Key words: GIS, Internet

1. Uvod

GIS tehnologije bodo skupaj z internetom v naslednjih letih odigrale pomembno vlogo pri strategiji razvoja vseh svetovnih gospodarstev. Internet GIS aplikacije predstavljajo povsem nove t.j. sveže priložnosti na vseh poslovnih področjih, ki se odpirajo svetu (narodnim gospodarstvom), da v nenehnem boju z gospodarskimi težavami in problemi le-te obvladajo ter na podlagi priložnosti, ki jih nudi informacijska tehnologija zagotovijo ustrezno gospodarsko rast in tako dokončno strejo najtrši oreh mnogih gospodarstev - recesijo.

Še pred koncem tisočletja bodo zaposleni v številnih podjetjih, pri svojem vskadanjem delu uporabljali internet/intranet GIS aplikacije, saj bodo prihranili mnogo časa in denarja pri učinkovitem vodenju, upravljanju in odločanju v podjetjih. Zakaj? Ker dejansko vsaka poslovna odločitev, ki jo sprejme management v podjetju zahteva uporabo prostorsko povezanih podatkov pri pridobivanju konkurenčne prednosti, odkrivanju novih poslovnih priložnosti ter utrjevanje položaja na trgu.

2. GIS in management

Leta in leta so dosedaj podjetja pripravljala barvne prikaze, nabadala bucike in lepila nalepke na zemljevide ter na takšen ali drugačen način analizirala poslovne odločitve, pripravljala strategije, itd.. Vsa ta ročna opravila, ki niso bila prav nič enostavna, temveč prej ravno nasprotno – dolgotrajna in zamudna, spremljala pa jih še velika verjetnost različnih napak, sedaj učinkovito nadomestijo GIS aplikacije.

V resnici je najbolj razveseljiv in navdušujoč tisti trenutek, ko stranki prvič prikažemo končne rezultate, ki jih omogočajo razvite GIS aplikacije, seveda hkrati z uporabo podatkov, ki jih ima na voljo stranka. Komentariji, ki navadno temu sledijo: "Aha, zdaj pravzaprav lahko vidim dejansko stanje!" ali pa "Nisem imel pojma, da je to mogoče!". Vzrok za te presenetljive izjave samo dokazuje, da management ni navajen videti poslovnih podatkov neposredno v prostorskem kontekstu, zato predstavlja prvi stik z GIS-i za vse toliko večje presenečenje. Karta je tako postala nekakšno okno skozi katerega lahko dosežemo podatke, seveda če je zagotovljena ustrezna podatkovna baza napolnjena s kvalitetnimi podatki, ustrezna programska in strojna oprema ter strokovnjaki. Pomembno je, da pravilno ocenimo in evidentiramo najpomembnejše potrebe, želje, zahteve, pričakovanja in probleme uporabnikov, saj le na takšen način lahko ugotovimo kakšen sistem bo za podjetje najprimernejši oziroma če sploh potrebuje GIS. V oceno je vključena analiza potrebnih funkcij, da lahko ugotovimo, kako so bile določene odločitve dosežene in izbrane ter kako pogosto, kot tudi podatki in metode, ki so bile uporabljene za posamezne odločitve. Prav tako je pomembna analiza stroškov in koristi, ki navadno odločilno vpliva na to ali bodo v podjetju pristopili k implementaciji GIS-a.

V preteklosti ni bilo učinkovite poti za urejanje vseh podatkov. Sedaj pa lahko podjetja izkoristijo prvi korak na poti uporabe neskončnih potencialov, ki jih nudi GIS.

Prostor igra zelo pomembno vlogo v mnogih oziroma skoraj vseh poslovnih odločitvah. Upoštevanje vrednosti prostorskih podatkov je pomembno pri lociranju trgovin, analiziranju tveganja, razvijanju prodajnih teritorijev, oblikovanju promocije, izbiranju področij za vlaganje v investicije, analiziranju obstoječih podatkov o prodaji, itd. Managerji so spoznali, da GIS tehnologije omogočajo izboljšanje (učinkovitost, optimizacijo) trenutnih poslovnih procesov in omogočajo ustvarjanje novih poslovnih priložnosti.

V zadnjih nekaj letih so GIS tehnologije pridobile boljši sprejem, večjo vrednost in uporabnost ter zaupanje v poslovnih krogih (top management). GIS tehnologije omogočajo podjetjem, da se lahko pravočasno pripravijo na izzive prihodnjih let, ko bodo v prvi vrsti stali tisti, ki bodo znali ponuditi prave izdelke in storitve vse bolj ozko definiranim tržnim segmentom - ciljne skupine postajajo vse bolj individualne. Marketing bo pri tem odigral pomembno vlogo, saj skupaj v povezavi z GIS tehnologijami predstavlja največji izziv in priložnost v sodobnem marketingu. Iz tega sledi, da bodo omenjene tehnologije in večine potrebovala vsa podjetja, ki izdelujejo in prodajajo izdelke na tržišču. Podjetja se morajo soočiti s temeljno realnostjo današnjega časa, ki vlada na tržišču t.j. masovni trgi ne obstajajo več, saj so pravzaprav propadli že pred leti. Današnje tržišče namreč sestavljajo široko razpršene ciljne skupine - potrošniki. Da bodo podjetja lahko preživela do začetka tisočletja, se bodo morala hitro prilagoditi spremembam, ki jih je povzročila diverzifikacija strank. Vse te spremembe pa je mogoče uspešno urediti s pomočjo GIS tehnologij.

3. GIS predstavlja pot v prihodnost

Prodajni teritoriji, trgovska območja, medijska tržišča in nenazadnje individualni potrošniki so vezani na lokacijo v prostoru. Od tod se kaže tudi potreba po uporabi GIS tehnologij za upravljanje in vodenje podatkov vezanih na prostor. Podjetja spoznavajo, da je njihov bodoči poslovni uspeh v veliki meri odvisen predvsem od zmožnosti zgraditi čim bolj osebni odnos s svojimi strankami oziroma potrošniki.

Potenciali GIS tehnologij se skrivajo ravno v reševanju omenjenih problemov. Ne glede na obravnavane stvari je lokacija tista, ki povezuje dogodke za katere se sprva zdi, da med seboj niso v nikakršnem odnosu. Nadalje GIS ne samo, da pove, temveč tudi grafično prikaže vpliv določenih prostorskih značivosti. Definira nove možnosti in eksponentno povečuje vrednost podatkov. V bližnji prihodnosti bomo najbrž vsi uporabljali računalnike v takšni ali drugačni obliki ter kartografske in grafične prikaze, kot pomoč pri svojem delu. Lahko rečemo, da bo postal GIS že način življenja, ne samo sistem.

Dobiti kvalitetne podatke ob pravem času in na pravo mesto ter s čim manj stroški je odločilnega pomena za vsak posel, ki ima poleg tega tudi izmerljiv vpliv na stroškovno učinkovitost v podjetju, prav tako pa tudi na oblikovanje strategije in podjetniške politike. To dejstvo je danes že vsem znano in vodi k široki uporabi računalnikov v podjetjih za vodenje in upravljanje z množico opisnih podatkov. Vodenje in upravljanje prostorskih podatkovnih baz pa je precej bolj kompleksna zadeva od samega vodenja opisnih podatkov.

Največja vrednost GIS-ov se kaže v zmožnosti preoblikovanja prostorskih podatkov (in z njimi povezanimi opisnimi podatki) v uporabne informacije. Sodobna informacijska tehnologija nam odpira ogromno prednosti; od reševanja številnih kompleksnih problemov, prihranka časa, boljše organiziranosti in fleksibilnosti, racionalizacije poslovanja, pa do hitrejšega pretoka informacij, itd. Bistvene prednosti, ki se ponujajo že na prvi pogled, so v povečanju stroškovne učinkovitosti v dnevni delovnih operacijah, zmanjšanju tveganja pri vlaganjih v nove investicije, hitrejši izdelavi boljših opcij za odločanje, itd.

4. Možnosti uporabe GIS tehnologij

Podjetja čedalje bolj spoznavajo, da je v boju s konkurenco GIS odločilnega pomena za uspeh. Ne glede na to ali gre za proizvodno, storitveno ali kakšno drugo podjetje, vsako v okviru svojega poslovanja opravlja različne poslovne funkcije, ki v sebi nosijo prostorske komponente. Torej, podjetja obstajajo in poslujejo na določenem prostoru in vsako od njih zavzema takšno ali drugačno pozicijo na tržišču, ki obsega neko območje v prostoru. Ali gre to za majhno trgovino s prehrabnimi izdelki na vogalu, ki oskrbuje nekaj sosednjih ulic ali pa gre za multinacionalko, ki je ravnokar internacionalizirala svoje poslovanje, v obeh primerih imamo tako ali drugače opravka s prostorom. Vidimo, da je trg za GIS poslovne aplikacije zelo raznovrsten in obsežen. Vsakega managerja, ki bi želel imeti čim boljši odgovor na vsaj eno izmed naslednjih vprašanj predstavlja možnega uporabnika GIS aplikacij:

- Kdo in kje so naši potencialni kupci, stranke, potrošniki?
- Kdo in kje so naši tekmeci?
- Kdo in kje so naši dobavitelji?
- Kdo in kje so naši upniki?
- Katere nove proizvode/storitve lahko ponudimo?

- Katera so naša nova tržišča?
- Kje so naše nove razvojne možnosti?

Sem sodijo tako proizvodna, kot storitvena podjetja v praktično vseh gospodarskih panogah od malih, srednjih in velikih podjetij, doma in v tujini. Samo tržišče je pri nas še razmeroma mlado, saj so GIS tehnologije novost v poslovnem svetu za razliko od tujine, kjer so se ponekod npr. v ZDA že dodobra uveljavile. V prihodnjih letih strokovnjaki napovedujejo pravo ekspanzijo geoinformacijskih sistemov v poslovnem svetu.

GIS tehnologije zagotavljajo ogromen potencial, saj lahko prostorske informacije uporabljamo bolj sistematično. Boljše razumevanje GIS tehnologij s strani uporabnikov, managerjev, analitikov je odločilnega pomena za pravilno uporabo te tehnologije. Vsekakor je najpomembnejše seznaniti managerje z novimi tehnologijami, ki jih je mogoče s pridom uporabiti npr. v marketingu in jih prepričati, da stvari tudi res delujejo. Zato je potrebno vsakemu managerju predlagati naj za nekaj trenutkov premisli o svojem podjetju:

- Je geografija del vašega posla?
- Ali ima pri poslovnem odločanju lokacija pomembno vlogo?
- Ali vas vprašanje “kje” sploh kdaj zadeva?

5. GIS poslovne aplikacije

Področje uporabe GIS-tehnologij je praktično neomejeno oziroma ga omejuje samo človeška domišljija. Zajemamo in obdelujemo lahko vse podatke, katerim je mogoče določiti prostorsko dimenzijo.

V poslovnem svetu se GIS tehnologije uveljavljajo prtedvsem na naslednjih področjih za podporo različnim poslovnim funkcijam v podjetjih:

- strateško planiranje,
 - podpora odločanju,
 - marketing,
 - prodaja,
 - transport, dostava itd.
- in naslednjih gospodarskih panogah:
- nepremičnine,
 - zavarovalništvo,
 - bančništvo,
 - turizem in prosti čas,
 - zdravstvo.

5.1. Karakteristike poslovnih GIS-ov

Poslovne GIS aplikacije so navadno “ukrojene” za specifične potrebe in želje uporabnikov. Aplikacije so razvite za podporo posameznim procesom in postopkom, ki se odvijajo v podjetju. To v splošnem pomeni, da so v sistem vključene samo tiste funkcije, ki so za izdelavo kvalitetne GIS aplikacije nujno potrebne.

5.2. GIS rešuje probleme v marketingu in prodaji

Največji potencial GIS tehnologij v marketingu je v funkciji, ki jo imenujemo geoko-

diranje. Uporaba GIS tehnologij je lahko podjetjem v veliko pomoč pri ugotavljanju tržišč za nove izdelke ali storitve, definiranje potencialnega zaledja strank, merjenja oziroma ugotavljanja tržnega deleža, analiziranja konkurence, itd. Podatke in informacije, ki jih za svoje potrebe zbira podjetje, skupaj s podatki, ki so na voljo v državnih službah, lahko s pomočjo GIS tehnologij predstavimo dobesedno v milijonih možnih kombinacijah, glede na različne kriterije potrošnikov.

Analiza prodaje je področje, ki postaja iz dneva v dan bolj pomembno. Jedro prodajanja je potreba po tekmovanju in vzdrževanju tržnega deleža v odnosu do konkurence in če je mogoče, v povečanju tržnega deleža na podlagi pridobitve strank konkurenčnih podjetij. Ta potreba narašča zaradi stalnega pritiska investitorjev in delničarjev po povečanju dobičkov. Ko je gospodarstvo zdravo so zahteve po večjih dobičkih v podjetjih zagotovljene z gospodarsko rastjo. Podjetja soočena s stagnacijo na trgu lahko rastejo samo z pridobivanjem novih strank.

5.3. GeoMarketing

Podjetja, ki se ukvarjajo z maloprodajo oziroma trgovino vedo, da je čim boljše poznavanje strank odločilnega pomena za njihov obstoj, saj je od tega odvisno ali bodo preživeli ali ne ter ali morebiti obstajajo kakšne možnosti za uspešno širitev svojih dejavnosti. Natančna prostorska lokacija strank, odjemalcev, potrošnikov, uporabnikov postaja iz dneva v dan pomembnejša, saj podjetja poskušajo poslovati čim bolj uspešno oziroma si prizadevajo za čim večji dobiček.

5.4. Izbira lokacije

Za skoraj vse poslovne dejavnosti velja (izdelki in storitve), da mora management vsakodnevno sprejemati odločitve, o tem kje postaviti npr. svoje obratovalnice, trgovine, izpostave, filiale, poslovne enote, podružnice, predstavništva, itd. Za podjetja, ki se npr. ukvarjajo s prodajo, dobra lokacija pravzaprav pomeni že pol uspeha oziroma je odločilnega pomena za uspeh ali propad podjetja.

5.5. Prostorska porazdelitev

Kar precej podjetij ima opravka z stalnim preučevanjem območij za oblikovanje prodajnih, servisnih, dostavnih in ostalih mrež. Razvijanje prostorskih območij, ki optimalno pokrivajo priložnosti za poslovne dejavnosti je zelo pomembno vprašanje.

5.6. Izbor optimalne poti

Razvijanje optimalnih cestnih povezav predstavlja kompleksen logistični problem za mnoga podjetja. Pogosto je oblikovanje najprimernejših poti npr. za dostavo prepuščeno posameznikom, ki pa brez pomoči GIS-a navadno dosegajo zelo spremenljive rezultate.

5.7. Bančništvo

Vzpostaviti sistem, ki omogoča prostorske analize nad preglednimi sloji za:

- boljše poznavanje konkurence, obstoječih in potencialnih strank,
- ugotavljanje primernih lokacij za nove poslovne enote in bankomatov,
- pripravo marketinških strategij za ohranjanje in pridobivanje novih strank,
- analizo uspešnosti/primernosti tržnih akcij,



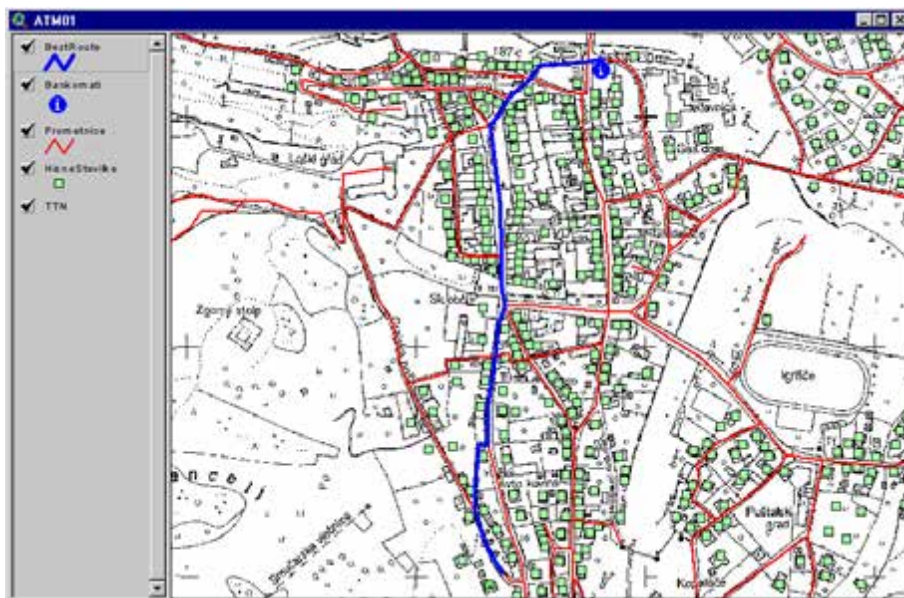
Slika 1: Komunikacijsko okno za vnos podatkov o hišni številki.

- povečanje tržnega deleža,
- izboljšati pokritost tržišča.

6. GIS in internet

Izbruh množice digitalnih podatkov in razvoja računalništva v zadnjih letih je pripeljal do potrebe po novi generaciji tehnologij za upravljanje in vodenje podatkov in novo paleto veščin, ki bodo tem podatkom dale pomen. Skupaj z razvojem in širitvijo informacijskih tehnologij in standardov se vse bolj odpirajo nove možnosti za implementacijo GIS tehnologij na svetovni splet. Pojavljajo se različne rešitve, ki bolj ali manj izkoriščajo prednosti objektivne tehnologije in odprtost interneta, kot omrežne arhitekture za sodobne GIS aplikacije. Nove telekomunikacijske povezave s potrošniki, kot so internet, kabelska televizija (televizijska prodaja), ciljne prodajne tehnike (kataloška prodaja), specializirane revije in časopisi ter druge oblike oglaševanja predstavljajo številne priložnosti za segmentacijo trga. Hkrati pa predstavlja veliko tveganje za tista podjetja, ki teh povezav oziroma priložnosti ne bodo znala učinkovito izkoristiti. Danes podjetja običajno razvijajo samo informacijske sisteme za vodenje in upravljanje oziroma obdelavo poslovnih podatkov, ki so organizirani v relacijskih podatkovnih bazah. Kot vemo pa ima vsak takšen ali drugačen podatek svojo funkcionalno povezavo s povsem določeno lokacijo v prostoru. Informacijska tehnologija je v zadnjih letih naredila velik korak naprej.

Temeljna marketinška strategija podjetij za prodor in uveljavitev na trgu izhaja predvsem iz informacijskih in prostorskih faktorjev. Podjetja imajo navadno že delno ali pa v celoti strukturirane svoje poslovne podatke ter jih želijo integrirati v okviru intraneta ali v sklopu sodelovanja s poslovnimi partnerji v Extranetu in na takšen način izboljšati



Slika 2: Izris najkrajše poti med hišno številko in najbližjim bankomatom.

učinkovitost svojega poslovanja. Nekatera podjetja in organizacije pa želijo svoje podatke povezati s prostorskimi podatki s pomočjo GIS tehnologij, z namenom razširiti svojo ponudbo in jih posredovati svetovni javnosti prek interneta.

Takšen je primer internet aplikacije, ki smo jo v podjetju Ascent d.o.o. implementirali v okviru informacijskega servisa vodilne slovenske banke ter je vsem dostopna in namenjena za splošno uporabo t.j. Lokator bančnih avtomatov in poslovnih enot banke. Osnovna funkcionalnost internet aplikacije je iskanje najkrajše poti od poljubne lokacije pa do najbližjega bankomata ali poslovne enote banke. Uporabnik enostavno s pomočjo spletnega brskalnika požene omenjeno internet aplikacijo. Ko se odpre posebno komunikacijsko okno lahko v ustrezna polja vpiše podatke o določenem naslovu (naselje, ulica, hišna številka in dodatek). Ko potrdi vnešene podatke, internet aplikacija izriše najkrajšo pot med hišno številko in najbližjim bankomatom. Za razvoj internet aplikacije smo uporabili ArcView 3.0a za Windows, ArcView Internet Map Server 1.0 in Network Analyst (sliki 1 in 2).

Smisel oziroma bistvo informacij in njihove interpretacije se povečuje - stopnjuje z uporabo internet GIS aplikacij. GIS dodaja poslovnim podatkom novo dimenzijo, saj omogoča primerjavo in prezentacijo prostorskih podatkov, kar poveča zmožnost uporabnikov, da na podlagi prostorskih analiz in kartografskih ter drugih prezentacij izbere pravilno odločitev.

7. Sklep

GIS tehnologije zagotavljajo ogromen potencial, saj lahko prostorske informacije uporabljamo bolj sistematično. Boljše razumevanje GIS tehnologij s strani uporabnikov, managerjev, analitikov je odločilnega pomena za pravilno uporabo te tehnologije.

GIS je oblikovan za zbiranje, shranjevanje, manipulacijo podatkov o prostoru in pojavov, kjer je prostorska lokacija pomembna karakteristika za različne analize. Uprav-

ljanje, vodenje in analiziranje podatkov veznih na prostor so ključne prednosti GIS-a. To se najbolj očitno vidi, ko je količina podatkov prevelika, da bi jih bilo možno učinkovito voditi ročno. S pomočjo GIS tehnologij pa je vodenje in upravljanje podatkov enostavnejše, hitrejšo in cenejše.

Kljub vsem prednostim, ki jih omogoča tehnologija pa GIS ne more obstajati sam za sebe, saj potrebuje močno podporo ustreznih podatkovnih baz in dobro usposobljenih ljudi.

Literatura in viri

Antenucci, J. C., Brown, K., Croswell, L. P., Kevany, J. M. 1991: Geographics Information Systems.

ArcView Internet Map Server.

ArcView Network Analyst.

Business GIS 1995, Geo Info Systems, september.

ESRI 1997, White Paper - The Future of GIS on the Internet.

Maffini, G. 1998: GIS in Business, When It Makes Cents.

ARHEOLOŠKA AEROFOTOGRAFIJA

Darja Grosman
Oddelek za arheologijo
Filozofska fakulteta
Univerza v Ljubljani
Zavetiška 5, Ljubljana
darja.grosman@uni-lj.si

Izvleček

UDK 902.4:778.35

Prispevek predstavlja glavne značilnosti arheološke aerofotointerpretacije. Kompleksnost povezave naravnih in antropogenih procesov, ki sodelujejo pri formiranju arheološkega zapisa v prostoru, je eden od ključnih razlogov za prevlado tradicionalne tehnologije interpretacije. Skupaj z rezultati ostalih arheoloških prospekcij in s kontrolo stratigrafije, dobimo v aerofotografiji, nov arheološki vir, skrit v nepregledni zakladnici posnetkov, ki že celo stoletje minuciozno beležijo pojavljanje, spreminjanje in izginjanje sledov preteklih krajin. Ključne besede: letalska fotografija, interpretacija, arheologija

Abstract

UDC 902.4:778.35

Archaeological air photography

This paper presents some details on the archaeological air photo interpretation. One of the reasons, why the traditional way of extracting data from the photographs still prevails, is the complexity of the natural and human processes involved in the formation of the archaeological record. Only combined with the results from other prospections and with the control of stratigraphy, become aerial photographs, that have been for the last hundred years recording the changes of the landscapes, an important archaeological source, still hidden in archives. Key words: air photography, interpretation, archaeology

1. Uvod

Vsak fotografski zapis, ki omogoča proučevanje prostorskih objektov vsebuje načelno tudi podatke o ohranjeni arheologiji. Današnja pokrajina nosi v sebi pečat nastajanja, spreminjana in izginjanja čisto specifičnih oblik človekovega bivanja in delovanja v prostoru. Ker so se nam iz zgodnjih obdobj človeške zgodovine v njej ohranili le drobci, so mnogi med njimi neopazni ali nerazumljivi. Arheologija, katere glavni vir je zapis v površinskih slojih, poizkuša s pomočjo nedestruktivnih metod, med katerimi je tudi interpretacija aerofotografije, identificirati, analizirati in razložiti tisti del zapisa, ki je ohranjen na površini ali je zaradi posebnih pogojev preslikan nanjo.

Kadar govorimo o arheološkem opazovanju prostora moramo zato najprej odgovoriti na dve ključni vprašanji: a) kakšni so arheološki ostanki in znaki, ki se pojavljajo na površini in ali resnično vsak posnetek površine omogoča tudi njihovo prepoznavanje, ter b) zakaj se šele v zadnjih treh desetletjih, poleg specialnega arheološkega rakognosciranja iz zraka, obstoječi arhivi aerofotografije spreminjajo v nov vir za arheološki študij prostora.

Z obema vprašanjema se dotikamo pojmov, ki so tesno povezani z rabo aerofotografije v arheologiji: s pojmom znane in neznanе arheologije (detekcija), pojmom prostorskega in časovnega konteksta arheoloških ostankov (definicija), in s pomenom časa v katerem je fotografski zapis nastal (registriranje). Na robu tega se srečamo še z izjemno pomembnim

Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1997-1998, str. 253-263, Ljubljana 1998

vprašanjem razmerja med uporabo nedestruktivnih in destruktivnih metod v arheologiji.

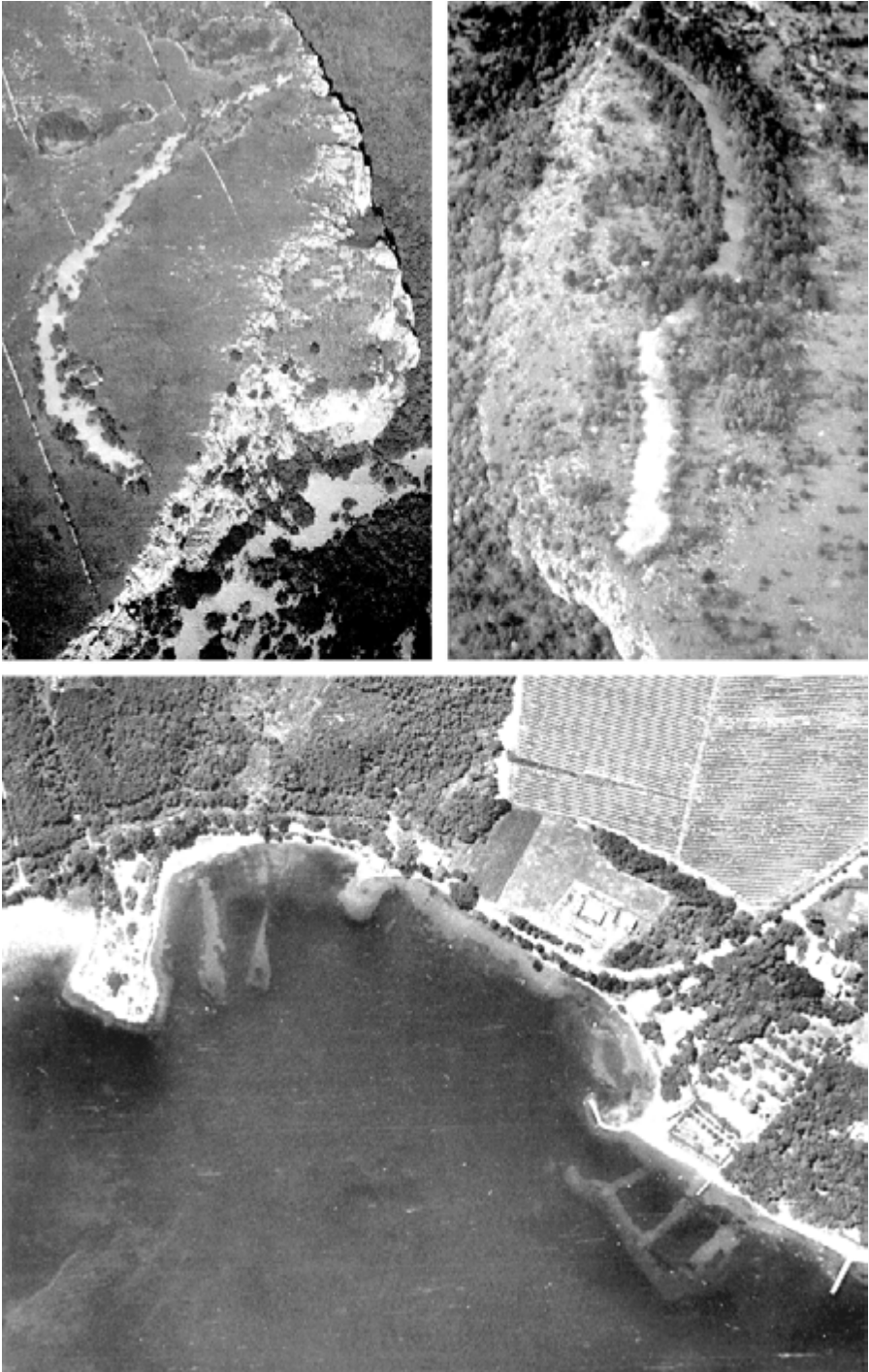
S pojavom fotografije in možnostjo oddaljenega pogleda, je bil že na samem začetku tudi arheologiji ponujen nov izziv. Vendar o aerofotografiji, ki je v arheologiji v rabi skoraj celo stoletje, večina strokovnjakov in uporabnikov še vedno razmišlja predvsem kot o najprimernejši ilustraciji arheološkega najdišča ali spomenika, ne pa kot o viru. Razlogov za to je precej in so v evropskem prostoru zelo raznoliki. Samo v zahodni Evropi srečamo tri različne načine uporabe aerofotografije. V Veliki Britaniji se sistematično snemanje za potrebe arheologije izvaja od konca prve svetovne vojne (Riley 1987; Hampton 1989). Ciklična opazovanja, katerih rezultat so izredne količine posnetkov (številke segajo v milijone) in predstavljajo neprecenljivo bazo podatkov o arheologiji, dolgo niso dobila enake strokovne podpore pri interpretiranju. Zato že sedemdeset let poznamo dobro izdelano klasifikacijo arheoloških znakov (Crowford 1929), problemsko usmerjene študije pa so se pojavile šele petdeset let kasneje (npr. Whimster 1989; Stoerz 1997). Francija, Nemčija in države Beneluksa uporabljajo enako metodo zbiranja arheoloških podatkov od konca petdesetih let (Chevallier 1964; Leidorf 1996). Specialno arheološko snemanje je tudi tu vodilni del raziskav. Za razliko od britanskega primera je pri interpretaciji v frankofonskem svetu največji poudarek na identificiranju antičnih krajin, zlasti na metrološki obravnavi antičnih sistemov zemljiške razdelitve (Favory 1980), v Nemčiji pa povezava arheološke aeroprospekcije z geofizikalnimi raziskavami na posameznih najdiščih (Becker 1996). V mediteranskem pasu od Portugalske do Grčije vlada medtem precejšnje zatišje. Nekatere večje regionalne raziskave kot npr. Alto Polesine v Italiji (De Guio et al. 1989) ali Hvar na vzhodni Jadranski obali (Slapšak, Stančič 1988) vključujejo uporabo aerofotografije, kot dopolnilo v sistemu arheoloških prospekcij. Večino primerov specialnih snemanj in interpretacij mediteranskega prostora pa, podobno kot afriškega (Jones 1989), poznamo le iz zgodnjih del britanskih pionirjev arheološke aerofotografije (Kennedy 1990).

Vzhodna in srednja Evropa, vključno z nami, poizkušata zaostanek, ki je nastal zaradi 50 let trajajočega *zaprtega* neba (Braasch 1995), čim hitreje nadoknaditi. Glavna smer razvoja je na področju arheološkega rekognosciranja iz zraka. Po sprostitvi zakonskih prepovedi letenja in snemanja sta v enem postopku zaobsežen dva osnovna arheološka cilja: registrirati čim večje število znanih spomenikov in odkrivati nove (Gojda 1997). Le manjši del regionalnih ali nacionalnih projektov je trenutno namenjen obravnavi problemov arheološke interpretacije, ki bi presegli vprašanja klasifikacije znakov in njihovega kartiranja. Otroške bolezni, ki jih poznamo iz razvoja na zahodu se v določeni obliki že kažejo tudi na vzhodu, s to razliko, da bo očitno povezava med arheološko aerofotointerpretacijo in terenskimi raziskavami, zdi se, precej tesnejša.

2. Nevidna in vidna arheologija

Detajlno poznavanje načel arheološke stratigrafije (Harris 1991) je osnovno tudi pri arheološki aerofotointerpretaciji, saj so od prvotnega zapisa ohranjeni fragmenti, med katerimi se le nekateri pojavljajo kot površinski znaki. Poleg težko prepoznavnega časovnega zaporedja posameznih elementov (kronologije slojev kulturne krajine, predstavlja največjo oviro prav njihova fragmentarnost.

V arheologiji poznamo dva tipa arheoloških ostankov, ki so vidni ali berljivi na površini in tvorijo najdišča vseh vrst. Tisti, ki so se ohranili na površini v primarni, nespremenjeni obliki ali v njenih drobcih (t. i. *stoječa* stratigrafija) (slika 1) oziroma tisti, ki so prekriti s



Slika 1: Arheološki objekti ohranjeni na površini - kamnite ograde (Jačemica; Zazid, zgoraj) in pod vodno gladino - kamniti pristaniški objekti (Ankaran/Jernejeva draga, spodaj).



Slika 2: Naselbina na sotočju z dvema obrambnima nasipoma (Malo Mraševo, zgoraj) in v rečnem okljuku (Otok pri Dobrovi, spodaj).



Slika 3: Objekti grajeni z jarki (Rakičan, zgoraj; Dvor pri Kostanjevici, spodaj).

površinskim slojem, opazni kot del površinske topografije, vendar še prepoznavni kot del arheološkega zapisa (mikrorelief) (slika 2, 4). Druga vrsta ostankov je sčasoma povsem izginila s površja in tvori del zapisa v zgornjih plasteh (*zakopana* stratigrafija). Na površini jih vidimo zato, ker se fizikalne in kemične lastnosti arheoloških depozitov v tolikšni meri razlikujejo od plasti, ki so naravnega izvora, da sami po sebi ali pa posredno izstopajo iz okolja. Zlasti obdelovalne površine, kjer je ornica na spodnji meji v neposrednem stiku z intaktnimi arheološkimi plastmi, je nosilec vegetacijskih znakov (slika 5, zgoraj) in barvnih znakov tal (slika 5, spodaj).

Klasifikacija arheoloških ključev in znakov, ki so specifični za opazovanje arheoloških ostankov, se od prvih začetkov do danes ni bistveno spreminjala (Wilson 1980). Mednje štejemo topografski ali senčni ključ ter vegetacijski, barvni in vodni ključ. Oblika, dimenzija, mikrorelief (*sence*) in voda (prepustnost) so kazalci, ki jih moramo upoštevati pri prepoznavanju in analizi stoječe stratigrafije; med njimi srečamo tako pozitivne (različne konstrukcije, npr. zidovi, ograde, tlaki, nasutja, gomile) kot negative elemente (npr. jarki, jame, vkopi, zasutja, grobovi).

Drugi tip arheoloških ostankov prepoznamo v vrsti, barvi, in višini vegetacije nad njimi ali kot barvne odtenke tal, brez vegetacije. Pozitivi zavirajo oz. upočasnijo rast ter preprečijo dozoritev, zato jih v vseh fazah rasti prepoznamo najpogosteje kot svetlejše zanke na temnejši podlagi. Tudi kot barvni znaki tal, na površinah brez posevkov, so navadno svetlejši od okolice (sušenje), ali pa imajo zelo specifično barvo, kadar gre za izrazito koncentracijo določene vrste materiala (svetlo na temni ali svetlejše na svetli podlagi). Negativi in njihova polnila pospešujejo rast v vseh fazah in so tudi kot barvni znaki navadno temnejši od ozadja (slika 3).

Voda, ki je odločilen dejavnik pri pojavu vegetacijskih in barvnih znakov, je lahko sama po sebi dober indikator arheološkega zapisa - zlasti negativov. Pri poplavih npr. vidimo negative *črne* (najbolj temne); po odtekanju navadno v njih še nekaj časa stoji voda, kar lahko nadomesti ali dopolni sicer šibke senčne znake (med 10 in 30 cm višinske razlike na površini) (slika 2, spodaj). Posebne možnosti ponuja sneg. Tenka snežna odeja poenoti barvni ton površine in s tem omogoča boljše branje šibkih senčnih znakov (slika 4, spodaj); na površini z redkejšim listnatim gozdom pa edinkrat omogoča opazovanje površin, ki jih sicer štejemo kot neuporabne za interpretacijo. V času naglega taljenja se sneg in led nad antropogenimi depoziti topita izrazito hitreje kot v okolici tako, da na beli podlagi dobimo izrisane tako pozitivne kot negative (slika 4, sredina).

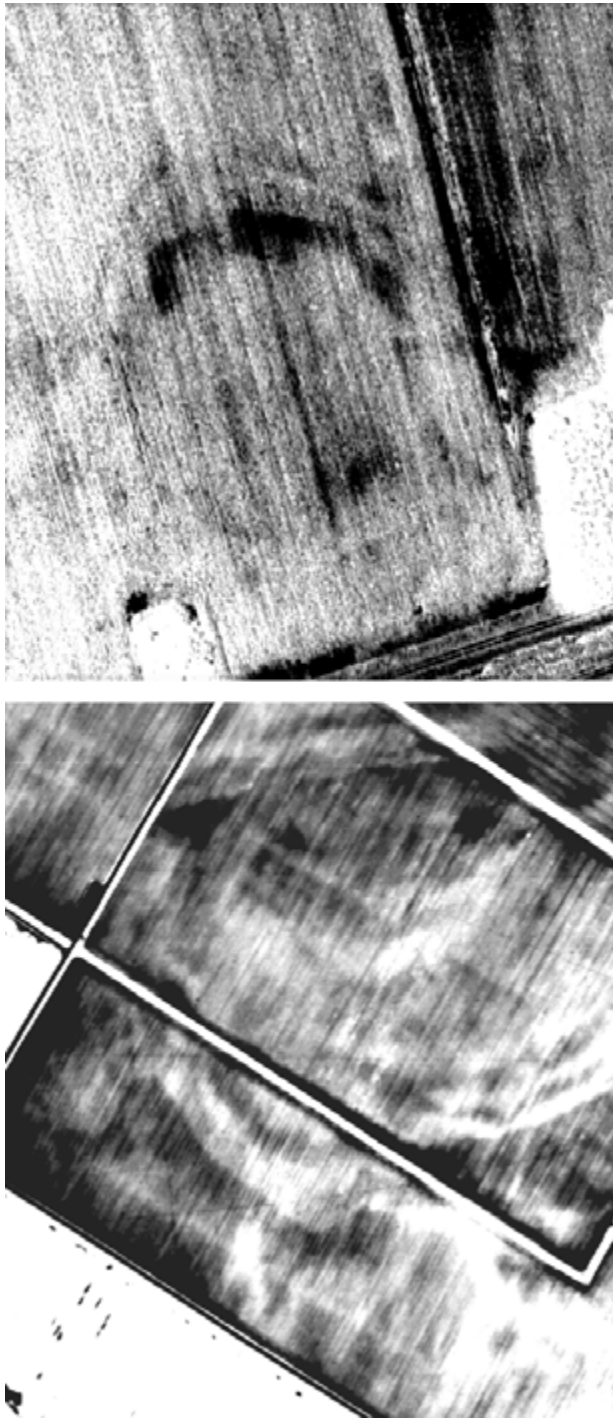
3. Rekognosciranje in interpretacija

Kadar govorimo o arheoloških znakih, ki so vidni iz zraka, navadno mislimo na tista v ruralnih področjih, zlasti na obdelovalnih površinah, kjer vse leto lahko opazujemo spremembe. Zaradi posebnih lastnosti antropogenih depozitov moramo pri interpretaciji upoštevati: pogoje v katerih se določena vrsta znakov pojavlja (je berljiva), agrarno rabo, regionalne (lokalne) posebnosti naravnega okolja ter predvsem arheološke in historično geografske podatke prostora.

Čeprav imajo posebna snemanja za arheologijo tako dolgo tradicijo, so še vedno v središču razprav. Snemanje je načelno podrejeno *prepoznavanju arheoloških znakov* med letom in ugotavljanju položaja iz katerega so najbolj vidni. To pomeni, da moramo že v pripravi leta jasno določiti način pokrivanja prostora. Ker je hitrost spreminjanja znakov



Slika 4: Utrdba z dvojnimi jarkom in nasipom (Češča vas) – poleti (zgoraj), v času topitve snega (sredina) in v snegu (spodaj).



Slika 5: Utrjena naselbina – vegetacijski znak (koruza), negativ (Inavci, zgoraj); barvni znaki tal - antična vila na sveže oranih površinah (Dolina pri Lendavi, spodaj).

težko predvidljiva, opravljamo pred snemanji orientacijske lete za oceno klimatskih razmer in stanja površine. Zakaj torej ne sledimo, ustaljenemu načinu snemanja - totalnega prekrivanja v pasovih? Detajli, ki jih lahko *ujamemo* pri sistematičnem iskanju najprimernejšega kota za snemanje so, pri velikostnih kategorijah in ohranjenosti arheoloških struktur, le eden od razlogov za takšen način dela. Natančno zabeležene razmere nad arheološkimi ostanki ali okrog njih, so neprecenljive vrednosti pri klasificiranju znakov (Scollar et al. 1995). Z njimi bolj kvalitetno in hitreje definiramo arheološke sledove tudi na drugih posnetkih, npr. delane za potrebe drugih strok in iz starih arhivov. Posebna snemanja kmetijskih površin v izrazitih sušnih obdobjih so eden najpomembnejših virov odkrivanja neznane arheologije. Omejitve so lahko npr. merila, saj se v takšnih primerih tako površinski kot vegetacijski znaki po dimenzijah nekoliko zmanjšajo. Z obdelavo slike (Booth et al. 1993; Redfern 1997) lahko danes na različnih nosilcih zapisa premostimo takšne šibkosti in odkrijemo tudi sledove, ki so dokončno izginili iz zapisa v zemlji. Pri arheološki interpretaciji sta, zaradi bliskovitega razvoja računalniške tehnologije, v središču pozornosti še dva problema: možnosti avtomatske identifikacije arheoloških struktur (npr. Lemmens et al. 1993; Forte 1993) in uporaba satelitskih posnetkov (Comfort 1997; Gaffney et al. 1994).

4. Program *Arheološka aerofotografija*

Pridobljene izkušnje na področju arheološke aerofotointerpretacije vertikalnih posnetkov iz osemdesetih let smo na Oddelku za arheologijo dopolnili z dvema raziskovalnima projektoma s področja arheološke metodologije (Guštin et al. 1996). V okviru obeh smo začeli s *prvimi sistematičnim rekognosciranjem iz zraka za potrebe arheologije* pri nas. Delo je bilo tristopenjsko. Na izbranih področjih smo opravili: a) interpretacijo vertikalne fotografije (CAS, PAS - osnovna merila in povečave), b) interpretacijo vseh dostopnih posnetkov v različnih arhivih, ne glede na vrsto nosilca zapisa, njihovo obliko ali čas nastanka, ter c) celo letno opazovanje (vsaj enkrat mesečno) in snemanje, katerega cilj je bil registrirati arheološki površinski zapis in nadzorovati razmere v katerih se pojavlja za oceno prostorskega in arheološkega potenciala.

Rezultati so bili tako bogati in presenetljivi, da smo po končanju obeh projektov nadaljevali z delom v nekoliko spremenjeni obliki. Program imenovan *Arheološka aerofotografija* je v celoti študijske narave. Cilj je nadaljevanje raziskav: a) metodologije posebnih snemanj, b) možnosti primerjalnih analiz rezultatov interpretacije s kartiranimi oz. stratificiranimi vzorci iz tresetričnih raziskav, c) sistema klasifikacije znakov v različnih prostorih ter d) problemov obdelave slik in kartiranja. Testni prostori so nižinski predelih rečnih dolin Vipave, Krke in Ledave. Tri različna naravna okolja s svojimi posebnostmi in hkrati tri kulturne krajine, ki so se skozi obdobja človeške zgodovine precej različno razvijale, predstavljajo osnovo za raziskavo o novih možnosti uporabe aerofotografije v tako raznovrstnih okoljih kot je predstavljajo slovenske pokrajine.

Literatura in viri

- Becker, H. 1996: *Kombination von Luftbild mit Geophysik in digitaler Bildverarbeitung. Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, Band 59. München.*
- Booth, W., Ipson, S.S., Haigh, J.G.B. 1993: *An investigation into the use of the colour in the analysis of aerial photographs. Computing the Past, Computer Applications*

- and Methods in Archaeology. Aarhus.*
- Braasch, O. 1995: *50 Jahre verloren. Forschungen zur Archäologie im Land Brandenburg* 3. Berlin.
- Chevallier, R. 1964: *L'avion et la découverte du passé. Paris.*
- Comfort, A. 1997: *Satellite Remote Sensing and Archaeological Survey of Euphrates. AARGnews* 14. Swindon.
- Crowford, O.G., 1929: *Air Photography for Archaeologists. Ordnance Survey Professional Papers N.S.:12. Southampton.*
- De Guio, A., Wilkins, J., Whitehouse, R. 1989: *Progetto Alto-medio Polesine–Basso Veronese. Quaderni di archeologia del Veneto* 5. Venezia.
- Favory, F. 1980: *Détection des cadastres antiques par filtrage optique: Gaule et Campaine. Mélanges de l'Ecole Francaise de Rome* 92.
- Forte, M. 1993: *Image processing applications in archaeology: classification systems of archaeological sites in the landscape. Computing the Past, Computer Applications and Methods in Archaeology. Aarhus.*
- Gaffny, V.L., Stančič, Z., Tretjak, A. 1994: *Uporaba satelitskih posnetkov v arheoloških prostorskih raziskavah. Arheo* 14, SAD. Ljubljana.
- Gojda, M. 1997: *Aerial Archaeology in Bohemia. Praha.*
- Guštin, M., Novaković, P., Grosman, D., Mušič, B., Lubšina-Tušek, M. 1996: *Rimsko podeželje. Razprave Filozofske fakultete. Ljubljana.*
- Harris, E.C. 1990: *Principles of archaeological stratigraphy. London.*
- Hampton, J. 1989: *The Air Photography Unit of the Royal Commission on the Historical Monuments of England 1965-85. Into the sun, Essays in Air photography in Archaeology. Sheffield.*
- Jones, B. 1989: *The Development of Air Photography in North Africa. Into the sun, Essays in Air photography in Archaeology. Sheffield.*
- Kennedy, D. 1990: *Roman Desert Frontier. Batsford. London.*
- Leidorf, K. 1996: *Luftbildarchäologie – Geschichte und Methoden. Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, Band 59. München.*
- Lemmens, J.P.M., Stančič, Z., Verwaal, R.G. 1993: *Automated archaeological feature extraction from digital aerial photographs. Computing the Past, Computer Applications and Methods in Archaeology. Aarhus.*
- Redfern, S. 1997: *Computer assisted classification from Aerial Photographs. AARGnews. Swindon.*
- Riley, D.N. 1987: *Air Photography & Archaeology. London.*
- Schollar, I., Tabbagh, A., Hesse, A., Herzog, I. 1990: *Archaeological Prospecting and Remote Sensing. Cambridge.*
- Slapšak, B., Stančič, Z. 1988: *A modular analysis of the field system in Pharos. British Archaeological Reports, Int. series 431. Oxford.*
- Stoerz, C. 1997: *Ancient Landscapes of the Yorkshire Wolds. Swindon.*
- Whimster, R. 1989: *The Emerging Past, Air Photography and the Buried Landscapes. London.*
- Wilson, D.R. 1980: *Air Photo Interpretation for Archaeologists. London.*

