



**NEKDANJA ODLAGALIŠČA  
ODPADKOV V VRTAČAH  
IN GRAMOZNICAH**

**MATEJA BREG VALJAVEC**



### **Mateja Breg Valjavec**

Naziv: dr., diplomirana geografka, znanstvena sodelavka  
Naslov: Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU, Gosposka ulica 13,  
Ljubljana, Slovenija  
Faks: +386 (0) 1 2002734  
Telefon: +386 (0) 1 2002726  
E-pošta: [mateja.breg@zrc-sazu.si](mailto:mateja.breg@zrc-sazu.si)  
Medmrežje: <http://giam.zrc-sazu.si/breg>

Rodila se je leta 1979 na Ptujju. Po maturi na tamkajšnji gimnaziji je študirala geografijo na Filozofski fakulteti Univerze v Ljubljani, kjer je diplomirala leta 2005. Istega leta se je kot mlada raziskovalka zaposlila na Geografskem inštitutu Antona Melika Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti. Izobraževanje je nadaljevala na podiplomskem študiju Krasoslovje na Fakulteti za podiplomski študij Univerze v Novi Gorici in ga leta 2012 sklenila z zagovorom disertacije v angleškem jeziku *Geoinformatic methods for the detection of former waste disposal sites in karstic and nonkarstic regions (case study of dolines and gravel pits)* (Geoinformacijske metode za določanje nekdanjih odlagališč odpadkov v kraških in nekraških pokrajinah (na primeru vrtač in gramoznic)). Raziskovalno deluje predvsem na področju geoinformatike, trirazsežnostnega modeliranja, varstva okolja, ravnanja z odpadki, varstva narave in zavarovanih območij.

GEOGRAFIJA SLOVENIJE 26  
**NEKDANJA ODLAGALIŠČA ODPADKOV V VRTAČAH IN GRAMOZNICAH**  
**Mateja Breg Valjavec**







GEOGRAFIJA SLOVENIJE 26

# **NEKDANJA ODLAGALIŠČA ODPADKOV V VRTAČAH IN GRAMOZNICAH**

**Mateja Breg Valjavec**

LJUBLJANA 2013

GEOGRAFIJA SLOVENIJE 26

**NEKDANJA ODLAGALIŠČA ODPADKOV V VRTAČAH IN GRAMOZNICAH**

**Mateja Breg Valjavec**

© 2013, Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

*Urednika:* Drago Perko, Drago Kladnik

*Recenzenta:* Andrej Kranjc, Drago Perko

*Fotografi:* Tatjana Benčina Bedene, Mateja Breg Valjavec, Blaž Komac, Janez Nared, Miha Pavšek, Primož Pipan, Tonka Poljšak, Aleš Smrekar, Manja Žebre

*Kartografka:* Mateja Breg Valjavec

*Prevod izvlečka:* Deks d. o. o.

*Oblikovalec:* Drago Perko

*Izdajatelj:* Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

*Za izdajatelja:* Drago Perko

*Založnik:* Založba ZRC

*Za založnika:* Oto Luthar

*Glavni urednik:* Aleš Pogačnik

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

*Naslovnica:* LiDAR-ski prikaz območja z vrtačami (© Ministrstvo za infrastrukturo in prostor).

Avtor fotografije na predlistu je Janez Nared, na zalistu pa Milan Orožen Adamič.

---

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

911:628.472.2(497.4)  
628.472.2:528.8(497.4)

BREG Valjavec, Mateja

Nekdanja odlagališča odpadkov v vrtačah in gramoznicah / [[avtorica], kartografka] Mateja Breg Valjavec ; fotografi Tatjana Benčina Bedene ... [et al.] ; prevod izvlečka Deks]. - Ljubljana : Založba ZRC, 2013. - (Geografija Slovenije, ISSN 1580-1594 ; 26)

Potiskani spojni listi. - 250 izv. - O avtorici na prednji notr. str. ov. - Predgovor / Aleš Smrekar: str. 8-9

ISBN 978-961-254-455-3  
ISBN 978-961-254-604-5 (pdf)

<https://doi.org/10.3986/9789612546045>

267861504



GEOGRAFIJA SLOVENIJE 26

**NEKDANJA ODLAGALIŠČA ODPADKOV V VRTAČAH IN GRAMOZNICAH**

Mateja Breg Valjavec

UDK: 911:628.472.2(497.4)

628.472.2:528.8(497.4)

COBISS: 2.01

## IZVLEČEK

**Nekdanja odlagališča odpadkov v vrtačah in gramoznicah**

Monografija predstavlja nekdanja odlagališča odpadkov v kotanjah (vrtače, gramoznice) z uporabo reliefne analize nekdanje in zdajšnje pokrajine ter na podlagi njune medsebojne primerjave. Izdelali smo celosten metodološki pristop, poimenovan trirazsežnostni (3R) model, s katerim odkrivamo in evidentiramo nepoznana, skrita nekdanja odlagališča odpadkov v kotanjah na območju ranljivih vodonosnikov. Raziskava obravnava problematiko nekdanjih odlagališč z vidika njihovega odkrivanja, vzpostavitve registra ter preučevanja na površju opaznih pokrajinskih učinkov (relief, prst, rastlinstvo). Izhodiščni podatki za nekdanjo pokrajino so trirazsežnostni (3R) modeli nekdanje pokrajine, bodisi digitalni modeli reliefa bodisi digitalni modeli površja, ki smo jih izdelali s stereoizvrednotenjem arhivskih aeroposnetkov. Z analizo reliefa smo na vzorčnih območjih Logaškega polja in Logaškega ravnika ter Ljubljanskega polja določili izhodiščno stanje vrtač in gramoznic pred njihovim zasipavanjem z odpadki. Vzorčni območja sta z vidika večletnega nastajanja odlagališč odpadkov v naravnih in antropogenih reliefnih kotanjah tipični pokrajinsko-ekološki enoti. Poleg lege in površine smo kotanjem določili tudi globino, ki je pomembna postavka za določitev količine skritih odpadkov. V sodobni pokrajini smo na podlagi objektno usmerjene vizualne in geomorfometrične analize visoko-ločljivostnega LiDAR digitalnega modela reliefa določili reliefne značilnosti z odpadki zapolnjenih kotanj. Kataster nekdanjih odlagališč odpadkov v vrtačah na obravnavanem območju Logaškega polja vključuje 92 objektov z največjo verjetnostjo, da so bili v njih dejansko odloženi odpadki. Na vodovarstvenih območjih vodarn Kleče in Jarški prod na Ljubljanskem polju pa je 71 objektov, opredeljenih kot nekdanja odlagališča odpadkov v gramoznicah. Dobljene rezultate smo preverjali s terenskim delom. Vzorčili (sondirali) smo prsti nad odpadki, na preseku zasutih kotanj smo merili električno upornost tal, s fitogeografskim popisom pa smo določili indikatorske rastline, ki so pokazatelj navzočnosti organskih odpadkov v kotanji. Rezultati terenskega preučevanja pomenijo nova izhodišča za bodoče geoinformacijske analize rastlinstva in prsti na odlagališčih odpadkov. Izsledki monografije so pomembna podlaga za morebitno izdelavo katastra nekdanjih odlagališč odpadkov na ravni celotne Slovenije, kjer je odprtih še veliko metodoloških izzivov, povezanih z različnimi tipi podatkov.

## KLJUČNE BESEDE

geografija, nekdanja odlagališča odpadkov, vrtača, gramoznica, geoinformatika, digitalni model reliefa, Logaško polje, Ljubljansko polje, Slovenija

GEOGRAFIJA SLOVENIJE 26

**NEKDANJA ODLAGALIŠČA ODPADKOV V VRTAČAH IN GRAMOZNICAH****Mateja Breg Valjavec**

UDC: 911:628.472.2(497.4)

628.472.2:528.8(497.4)

COBISS:

## ABSTRACT

**Former waste disposal sites in dolines and gravel pits**

This volume presents former waste disposal sites in depressions (dolines and gravel pits) using relief analysis of the former and current landscape and based on comparing them with one another. A comprehensive methodological approach has been created called the three-dimensional (3D) model, which is used to detect and record unknown, hidden former waste disposal sites in depressions above sensitive aquifers. The research deals with the problem of former waste disposal sites from the viewpoint of discovering them, creating a registry, and studying noticeable surface effects on the landscape (relief, soil, and vegetation). The baseline data for the former landscape are three-dimensional (3D) models of the former landscape (either digital terrain models or digital surface models) that were produced with stereo-image processing of archival aerial photos. For the sample areas of the Logatec Karst Polje and the Logatec Karst Plateau, as well as the Ljubljana Gravel Plain, relief analysis was used to define the initial state of dolines and gravel pits before they were filled with waste. The sample areas are typical landscape-ecology units from the perspective of the creation of waste disposal sites over many years in natural and manmade relief depressions. In addition to their location and area, the depressions were also defined by depth, which is an important factor for defining the quantity of hidden waste. Relief features of waste-filled depressions were defined in the current landscape based on object-oriented visual and geomorphometric analysis of a high-resolution LiDAR digital terrain model. The register of former waste disposal sites in dolines in the study area of the Logatec Karst Polje and the Logatec Karst Plateau includes ninety-two sites with a high probability of having had waste deposited in them. In the water-protection zones of the Kleče and Jarški prod water-pumping stations in the Ljubljana Gravel Plain there are seventy-one items defined as former waste disposal sites in gravel pits. The results obtained were checked in the field. The soil above the waste was sampled (probed), a cross-section of the filled depressions was measured for electrical resistance of the ground, and a phytogeographical survey was used to define indicator plants, which serve to indicate the presence of organic waste in a depression. The field research findings represent new premises for further geographic information analyses of vegetation and soil at waste disposal sites. The findings presented in this volume form an important basis for producing a register of former waste disposal sites in Slovenia, which still poses many methodological challenges connected with various types of data.

## KEYWORDS

geography, former waste disposal sites, doline, gravel pit, geoinformatics, digital terrain model, Logatec Karst Polje, Ljubljana Gravel Plain, Slovenia

**VSEBINA**

Predgovor .....	8
1 Uvod .....	10
2 Opredelitev predmeta raziskave .....	12
2.1 Pregled dosedanjega preučevanja .....	12
2.2 Onesnaževanje podzemne vode .....	15
2.3 Prsti odlagališč odpadkov .....	17
2.4 Rastlinje odlagališč odpadkov .....	19
3 Cilji raziskave .....	21
4 Metode dela .....	22
4.1 3R pristop .....	22
5 Geoinformatika in trirazsežnostni modeli pokrajine .....	25
5.1 Daljinsko zaznavanje in fotogrametrija .....	25
5.2 Trirazsežnostni (3R) modeli pokrajine .....	28
5.2.1 Izdelava DMR .....	29
5.2.2 Obstoječi DMR-ji Slovenije .....	32
5.2.3 Aeroposnetki in 3R modeli v okoljskih raziskavah .....	33
6 Omejitve preučevanih območij .....	35
6.1 Kraška pokrajina Logaškega polja in Logaškega ravnika .....	35
6.1.1 Vrtača – prevladujoča kraška oblika .....	37
6.1.2 Antropogeni posegi v vrtače .....	41
6.2 Prodna ravnina Ljubljanskega polja .....	44
6.2.1 Antropogene kotanje prodnih ravnin .....	45
6.3 Interes prebivalcev preučevanih območij po razreševanju problematik divjih odlagališč odpadkov .....	48
7 Izhodiščno stanje kotanj v nekdanji pokrajini .....	51
7.1 Stereozvrednotenje aeroposnetkov .....	51
7.2 Trirazsežnostni modeli preučevanih območij .....	52
7.2.1 Logaško polje leta 1972 .....	52
7.2.2 Ljubljansko polje v letih 1959 in 1964 .....	56
7.3 Izhodiščno stanje vrtač .....	58
7.4 Izhodiščno stanje gramoznic .....	64
8 Določanje nekdanjih odlagališč v zdajšnji pokrajini .....	69
8.1 Reliefna izhodišča v obrečni pokrajini .....	69
8.2 Vizualna analiza reliefa .....	70
8.3 Napovedovalni geomorfometrični model .....	71
9 Primerjava nekdanje in zdajšnje pokrajine .....	75
10 Preučevanje zasutih kotanj na terenu .....	78
10.1 Izbor metod .....	78
10.2 Popis rastlinskih vrst .....	78
10.3 Električna upornost tal .....	81
10.3.1 Meritve električne upornosti v zasuti vrtači .....	82
10.3.2 Meritve električne upornosti v zasuti gramoznici .....	84
10.4 Pedološko sondiranje .....	86
11 Razprava in sklepi .....	88
11.1 Ugotovitve .....	88
11.2 Enoten model za kraški in aluvialni tip pokrajine .....	105
11.3 Sklepi .....	107
12 Seznam virov in literature .....	110
13 Seznam slik .....	116
14 Seznam preglednic .....	118

## PREGOVOR

Pokrajina je spremenljiva. V daljni preteklosti je bila izključno posledica naravnih procesov, tako počasnih in dolgotrajnih, ki jih niti ne opazimo, čeprav potekajo vsakodnevno, pred našimi očmi, kot tako imenovani enkratni dogodki. Slednjim z vidika antropocentričnega zaznavanja pravimo katastrofični; gre na primer za izjemne poplave in posledične spremembe vodnih tokov, drobirske tokove, podore, udore kraškega površja. Ljudje se pred tovrstnimi naravnimi »ekscesi« od človeške prazgodovine dalje skušamo zavarovati na različne načine, za kar porabimo veliko energije in časa. Po drugi strani pa si poskušamo pokrajino celo podrediti, jo izkoriščati in preoblikovati po svoji meri. Grobih in največkrat povsem nepotrebnih antropogenih posegov v pokrajino še pred nekaj desetletji nismo prepoznali kot nekaj nedopustnega.

V času, ko je družbo še najbolj preveval občutek, da je končno premagala naravo in si jo lahko skoraj povsem podredi, so v raznih pokrajinah nastajale številne rane, ki se nikoli niso uspele do konca zaceliti. Nekatere manjše smo sicer s ponosom sanirali, vendar brazgotine ostajajo. Mnogi posegi pa so bili tako veliki, da bi, če bi bilo sploh mogoče, za njihovo sanacijo potrebovali ogromna finančna sredstva in predvsem veliko večjo odločnost.

Glavni namen pričujočega dela je preizkusiti uporabnost geoinformacijskih metod pri odkrivanju prekritih nekdanjih odlagališč odpadkov v vrtačah in gramoznicah ter nekdanjih (suhih) rečnih strugah. Na kraških območjih so vrtače najpogostejša poglobljena reliefna oblika, kamor se je v preteklosti zaradi navidezne »priročnosti« na veliko odlagalo odpadke. Podobno so bile na območjih s prodom in peskom za odlaganje odpadkov zelo pripravne opuščene gramoznice in suhe struge. Z odpadki zapolnjene konkavne reliefne oblike so s prekritjem s krovno plastjo postale nevidne in desetletja pozneje za mnoge niti ne vemo, kje so, čeprav se vse bolj zavedamo, da predstavljajo pravcato ekološko bombo. Nevarnost onesnaženja podzemnih voda seveda ostaja in je nenehna grožnja kakovosti vodnih virov, tudi tistih, ki se uporabljajo za pitno vodo.

Avtorica obeh pokrajinskih tipov ni izbrala naključno, saj se zaveda, da so v Sloveniji največje količine ogrožene pitne vode prav pod kraškim in aluvialnim površjem. Dobro izbrana primera kraškega Logaškega polja in Logaškega ravnika ter aluvialnega Ljubljanskega polja sta omogočila prepričljivo analizo.

Pri svojem znanstvenem delu pa se ni spopadla samo s številnimi izzivi pri uporabi sodobnih geoinformacijskih metod, temveč je storila pomemben korak naprej. Vrnila se je namreč na teren, ki ga je marsikateri geograf že pošteno zanemarl. Očitno se je zavedla, da lahko le s terenskim preučevanjem preveri rezultate geoinformacijskih analiz. Z analiziranjem rastlestva in prsti nad nekdanjimi odlagališči odpadkov je postavila nova izhodišča za prihodnje geoinformacijske analize.

Skozi celotno delo sledimo različnim tehnološkim rešitvam prepoznavanja ran, ki jih je narava (ponekod tudi ob pomoči človeka) zalizala in so navzven komajda prepoznavne, pod površjem pa se skrivajo raznovrstni neevidentirani nevarni odpadki. Čeprav ti predstavljajo latentno okoljsko grožnjo, upajmo, da ne bodo nikoli resno ogrozili ali celo uničili bogate podzemne zaloge pitne vode in druge naravne prvine. Da ob tem niti ne omenimo, da sta ponekod za vselej izgubljeni privlačna valovita kraška pokrajina, polna vrtač, in uravnana pokrajina aluvialnih ravnin, preprežena z rečnimi terasami in suhimi strugami.

Poleg nedvoumnega metodološkega prispevka k uspešnejšemu prepoznavanju tovrstnih tujkov v pokrajini, je pričujoče delo tudi napotek, kako naj bi v Sloveniji čim več tovrstnih okoljskih bremen vključili v kataster onesnaževalcev. Avtorica je lahko metode izpopolnila do takšne stopnje in ob tem ponudila uporabne rešitve tudi zato, ker se je med svojim dosedanjim kabinetnim in terenskim delom naučila izvrstno prepoznavati obravnavano problematiko. Naj ob tem omenim začetke njenega zanimanja zanj, ko je še kot študentka zavzeto popisovala divja odlagališča v gramoznicah, in zadnji večji strokovni izziv, ko je skupaj s sodelavci zasnovala kataster onesnaževalcev, ki mu velik pomen priznava tudi širša strokovna javnost.



Knjigi srečno pot med bralce, avtorici pa navdih za nove ideje, ki bodo še poglobile razreševanje obravnavne problematike!

dr. Aleš Smrekar

## 1 UVOD

Obsežen in izjemno dinamičen industrijsko-gospodarski razvoj v zadnjih desetletjih je v celotni Evropi povzročil popolno preobrazbo naravne in kulturne pokrajine, pri čemer so obsežna kmetijska zemljišča postala pomembna industrijska območja. Gostota prebivalstva je neustavljivo naraščala, majhna mesta so postala velika mesta. Posledica vsega tega so bile in so še vedno ogromne količine v naravo odloženih odpadkov. Upoštevajoč dejstvo, da se je najbolj dinamičen industrijski in gospodarski razvoj v Sloveniji začel v šestdesetih letih prejšnjega stoletja, okoljska zakonodaja na področju ravnanja z odpadki pa je zamujala več desetletij, domnevamo, da je veliko število divjih odlagališč nastalo med letoma 1950 in 1990; dandanes so v veliki meri skrita in pozabljena. Najprej je treba odkriti njihove lokacije, nato izdelati celovit register starih okoljskih bremen in jih zatem ustrezno sanirati.

Čeprav so nekatera komunalna odlagališča imela uradno dovoljenje tedanjih oblasti, so odpadke nanje odlagali nestrokovno, nenadzorovano in neustrezno. Nevarne industrijske odpadke so odlagali skupaj z nenevarnimi gospodinjskimi odpadki. Nekdanja odlagališča odpadkov največkrat niso bila umeščena v prostor skladno s predpisi, ki veljajo za sodobne deponije, ampak so jih običajno izbrali zaradi priročnosti, torej obstoječe reliefne kotanje, kamor je bilo mogoče odlagati odpadke. Večina odlagališč ni imela vododržnih zaščitnih plasti. Večina jih tudi še vedno ogroža kakovost okolja in zdravje ljudi, saj je izločanje različnih razpadnih snovi v ozračje, prst in podzemno vodo dolgotrajno (Allgaier in Stegmann 2005). Splošno prepričanje, da je 30 let po zasutju odpadkov dovolj dolga doba, da se odpadki spremenijo v inertno snov, je znova deležno strokovne presoje, saj v nedavnih študijah (Hjelmar s sodelavci 1995; Wall in Zeiss 1995; Kruempelbeck in Ehrig 1999; Röhrs, Fourie in Blight 2000; Fourie in Morris 2003; Allgaier in Stegmann 2005) ugotavljajo, da lahko razgradnja odpadkov traja še mnogo desetletij in celo stoletij, posebno v razmerah, kjer je pomanjkanje vlage in kolebanje drugih pomembnih dejavnikov (spreminjanje temperature, spreminjanje pH vrednosti) neznatno. Celo organski odpadki, kot so ostanki hrane, lahko po tridesetih do štiridesetih letih ostanejo nespremenjeni. Tako poroča ameriški arheolog in utemeljitelj znanstvene vede o smeteh garbologije (ang. *garbology*) Rathje (1991), ki je do tovrstnih spoznanj prišel z arheološkimi izkopavanji in preučevanji odlagališč odpadkov. Arheologi poročajo tudi o odkritju odlagališč odpadkov iz prazgodovine. Med izkopavanjem starorimskega odlagališča odpadkov so še po 2000 letih zaznavali neznosen smrad po gnitju (Rathje 1992).

Nekdanja odlagališča, ki so nastala z odlaganjem odpadkov v vbočene reliefne oblike oziroma kotanje, so v sodobnosti skrita, nepoznana in nenatančno locirana, kar onemogoča ugotavljanje njihovih vplivov na okolje. Problem je tudi nepoznavanje količine in sestave v njih odloženih, zakopanih odpadkov. Nedvomno so potencialno okoljsko breme, ki ima lahko negativne učinke na podzemno vodo. Zaradi pojava nenadnih onesnaženj podzemne vode, katerega izvor je neznan, je sum na izcedne vode iz nekdanjih odlagališč zagotovo utemeljen. Nekdanja odlagališča odpadkov so zelo aktualen in razširjen okoljski problem v vseh evropskih državah. V tistih, kjer so se s problematiko starih okoljskih bremen resno spoprijeli, potreben čas za očiščenje najnujnejših primerkov ocenjujejo na okrog dvajset ali celo petdeset let. Tako na primer v Avstriji ocenjujejo, da bosta dolgotrajno evidentiranje in sanacija starih okoljskih bremen, ki sta se začela že leta 1989, zaključena šele okrog leta 2050. Po nekaterih podatkih (Sufalnet 2009) je v Evropi več kot 150.000 odlagališč, čeprav v drugih virih navajajo, da je samo v Nemčiji registriranih več kot 100.000 degradiranih kontaminiranih območij (angleško *contaminated site*; Allgaier in Stegmann 2005) in pričakujejo, da bo z dopolnjevanjem registra število še naraslo.

Obstoj vrste manjših neurejenih oziroma divjih odlagališč odpadkov, ki so se hitro zapolnjevala, so na začetku sedemdesetih let 20. stoletja ugotovili tudi v okolici večjih mest Slovenije. Večje število divjih odlagališč v Sloveniji, bilo naj bi jih več desettisoč (Šebenik 1994), je nesporna posledica policentričnega naselbinskega sistema z razpršenimi mestnimi in industrijskimi središči. Odlagališča so prostorsko zelo razpršena in različne velikosti (veliko je majhnih), v njih so različno nevarni odpadki in zato so njihovi vplivi na okolje različni. V preteklosti je bil eden glavnih dejavnikov nastajanja divjih odlagališč neurejen odvoz komunalnih odpadkov, zelo obsežno pa je bilo tudi odlaganje industrijskih



in gradbenih odpadkov iz gospodarstva. Odvoz odpadkov je bil najbolj urejen na ravninah in v dolinah, bližini občinskih središč in drugih večjih krajev, torej tam, kjer je največja gostota prebivalstva in najboljša dostopnost (Šebenik 1994). S pokrajinsko-ekološkega vidika so tovrstna odlagališča odpadkov najpomembnejša okoljska posledica nesonaravnega ravnanja z odpadki (Šebenik 1995a in 1995b).

Nekdanja odlagališča odpadkov smo, skupaj s pozitivnimi dobrinami, podedovali od naših predhodnih generacij. Ocenjuje se, da je velika količina nepravilno odloženih odpadkov skrita in pozabljena. Naša moralna obveznost, ki nam jo nalaga paradigma o sonaravnem in trajnostnem razvoju, je, da prihajajočim generacijam zagotovimo temeljne informacije o starih bremenih in obenem začnemo s sanacijo najhujših primerkov. Navsezadnje smo se k temu obvezali v Pravilniku o ravnanju z odpadki (UL RS 84/1998 z dopolnitvami), ki med drugim določa: »... vzpostavitev učinkovitega sistema ravnanja z odpadki in postopna odprava starih bremen ...«. Prvi korak k izboljšanju stanja je natančna določitev lokacij opuščenih in neustrezno saniranih nekdanjih odlagališč odpadkov s podarkom na vodovarstvenih območjih.

Geografija se kot prostorsko opredeljena humanistična veda ukvarja predvsem s pojavi na Zemljinem površju, ki jih preučuje z različnimi metodami. Vendarle je površinske pojave in oblike treba velikokrat razložiti povezano s pojavi in procesi pod površjem. Kulturna pokrajina je v prvi vrsti odsev naravne pokrajine. Tako sta na primer poselitve in nanjo vezan gospodarski razvoj marsikod povezana s koriščenjem podzemnih vodnih. V Sloveniji so najgosteje poseljene in gospodarsko najrazvitejše prav aluvialne ravnine in kraške uravnave z obsežnimi podzemnimi vodonosniki, saj so ti zanesljiv vir pitne vode. Na Zemljinem površju pa lahko opazujemo in preučujemo tudi učinke podzemno odloženih odpadkov, skritih v kotanjah. Antropogene posledice v kotanjah skritih odpadkov se najbolj odražajo v reliefu, prsti in rastlinstvu. Opredelimo jih lahko le ob dobrem poznavanju naravnih značilnosti ter pojavov in procesov, tesno povezanih z navedenimi pokrajinskimi prvinami. Geografske metode za preučevanje pojavov pod površjem so vezane na terensko raziskovanje prsti (izdelava profilov, pedološko sondiranje), določanje geološke oziroma hidrogeološke zgradbe prodnih ravnin, preučevanje kraških pojavov, geomorfoloških procesov in oblik ter drugih pokrajnotvornih prvin. Velike priložnosti za razvoj geografskih metod ter preučevanje površja in posredno podzemlja v določeni pokrajini so nedvomno na področju geoinformatike: »... Geoinformatika, ki jo opredeljujemo kot znanost in tehnologijo pridobivanja, hranjenja, posredovanja, analize in predstavljanja geografskih informacij, je na splošno »pisana na kožo« znanstveno-raziskovalni, pedagoški in aplikativni geografiji ...« (Krevs 2002, 416).

Sodobni koncept določanja nekdanjih odlagališč odpadkov mora vključevati tako sodobne geoinformacijske metode in tehnike kot razpoložljive vrste prostorskih podatkov. Z uporabo različnih prostorskih podatkov, kot so topografski zemljevidi, letalski oziroma aeroposnetki, satelitske slike, različni visokovostni trirazsežnostni modeli (angleško *three-dimensional / 3D*) pokrajine (v nadaljevanju 3R modeli), je postalo očitno, da so človeški vplivi na Zemljino površje prisotni že stoletja ali celo tisočletja (Podobnikar in Možina 2008). S tovrstnimi podatki dobimo neposredne informacije o geometriji površja (lokacija, velikost, sprememba višine) ter posredne informacije o temperaturi (s termalnimi infrardečimi skenerji), bioaktivnosti (bližnjeinfrardeče slike) in razgibanosti reliefa (3R modeli reliefa). Koristne informacije pa lahko izločimo in vizualiziramo s prostorskimi analizami ob pomoči geografskih informacijskih sistemov (GIS; Podobnikar s sodelavci 2008). Uporaba geoinformacijskih metod se je v zadnjem desetletju močno razširila tudi v geografiji, pri čemer prednjačijo geografski informacijski sistemi kot celota, kartografija, nekoliko manj pa daljinsko zaznavanje in fotogrametrija. Med geografi je razširjena predvsem uporaba različnih trirazsežnostnih modelov pokrajine, kot je digitalnih model reliefa (DMR) za geomorfološke in geomorfometrične analize, preučevanje naravnih nesreč, varovanja okolja, naravne ter kulturne dediščine in podobno. V tej monografiji največjo pozornost namenjamo prav različnim oblikam trirazsežnostnih modelov Zemljinega površja ter geoinformacijskim metodam za njihovo obdelavo in določanje nekdanjih odlagališč odpadkov.

## 2 OPREDELITEV PREDMETA RAZISKAVE

Osrednji predmet raziskave so nekdanja neurejena in nedovoljena, zdaj pa opuščena odlagališča odpadkov. Poimenovali smo jih **nekdanja odlagališča odpadkov** in pomenijo **staro okoljsko breme**. Med bremena poleg nedelujočih in neustrezno saniranih odlagališč spadajo razna v preteklosti degradirana zemljišča, kot so območja starih, opuščenih industrijskih obratov, stara vojaška skladišča, ostala skladišča in podobno. Glede na intenzivnost urbanega in industrijskega razvoja smo nekdanja odlagališča v Sloveniji časovno umestili v petdesetletno obdobje po končani drugi svetovni vojni (1945–1995). Za socialistično obdobje od leta 1945 do devetdesetih let sta bila značilna neučinkovito izvajanje zakonov in industrokracija. Ta izraz označuje dejstvo, da je imela industrija v Sloveniji tako močan vpliv na politiko in upravo, da je lahko dolga leta brez kakršnihkoli kazni onesnaževala okolje. Pri umeščanju komunalnih in industrijskih odlagališč odpadkov v pokrajino se strokovna merila, ki veljajo za sodobne deponije, niso upoštevala. Zakon o varstvu okolja (ZVO-1), ki je stopil v veljavo leta 1993 (UL RS 32/1993 z aneksi), je povsem nove temelje postavil tudi na področju ravnanja z odpadki in njihovega odlaganja.

Rezultati preteklih raziskav na področju Slovenije (Bricelj 1988; Knez in Regent 1993; Šebenik 1992, 1994, 1995a in 1995b; Kušar 2000, 2001a in 2001b; Breg in Urbanc 2005; Smrekar s sodelavci 2005 in 2006; Požar 2006; Breg 2007; Smrekar 2007) dokazujejo, da so divja odlagališča odpadkov pogosto locirana v naravnih depresijah (vrtače, brezna, grape, suhe struge) in antropogenih reliefnih kotanjah (gramoznice, glinokopi, peskokopi). Običajno so jih izbrali zaradi priročnosti, torej že obstoječe reliefne kotanje, v katero je bilo mogoče odložiti odpadke. Tovrstne reliefne oblike so značilne za poseljena dinarska podolja in dinarske ravnike ter alpske in panonske ravnine. Za nekdanja odlagališča odpadkov je torej značilno:

- da so nedelujoča in z vidika odlaganja odpadkov opuščena;
- da so skrita v naravnih in antropogenih kotanjah;
- da so neurejena, saj pri odlaganju odpadkov niso upoštevali okoljskih standardov in predpisov, ki so se pri ravnanju z aktivnimi odlagališči začeli uveljavljati šele konec devetdesetih let (na primer ZVO-1, Pravilnik o odlaganju odpadkov 2000). Odpadki so odloženi na naravne geološke plasti, brez uporabe zaščitnih vodotesnih plasti na dnu in vrhu ter brez ustreznega odvodnjavanja in čiščenja izcednih voda;
- da se delijo na odlagališča, ki so imela dovoljenje takratnih oblasti (komunalna, industrijska) in na odlagališča, ki dovoljenja niso imela (nedovoljena, divja odlagališča, tudi industrijska);
- da so v odlagališčih skladiščeni odpadki različne vrste in starosti, katerih količina in sestava večinoma nista znani ali je znana le njuna ocena;
- da so dandanes v pokrajini bolj ali manj skrita, kar je posledica potrebnih časa in razmer za samodejno renaturacijo, lahko so bila tudi pozidana.

Glede na sodobno stanje v pokrajini jih delimo na:

- odlagališča, ki niso bila prekrita in sanirana z nanosom krovnega sloja, zato so dandanes zaraščena z rastlinstvom, ki odraža slabše rastiščne razmere;
- odlagališča, ki so bila sanirana z nanosom alogenega krovnega sloja (najpogosteje z neuporabno zemljino oziroma izkopnim materialom oziroma gradbenimi odpadki) in so lahko nezaraščena, delno zaraščena ali povsem zaraščena;
- odlagališča, ki so delno ali povsem pozidana.

V sodobni pokrajini je večina nekdanjih odlagališč odpadkov povsem skrita v zasutih kotanjah. Kljub temu lahko v reliefu ali rastlinski odeji opazimo spremembe, ki nakazujejo antropogene vplive (rahlo vbočena reliefna oblika na slikah 1 in 2).

### 2.1 PREGLED DOSEDANJEGA PREUČEVANJA

V Sloveniji je strokovne literature s tematiko nekdanjih odlagališč odpadkov in starih okoljskih bremen premalo, da bi širšo javnost ter prostorske načrtovalce in odločevalce lahko seznanila z dejansko



*Slika 1: Nekdanje odlagališče odpadkov v vrtači je opazno kot rahlo vbočeno površje, poraslo z drugačnim rastlinjem temnejše zelene barve (levo na sredini).*

razsežnostjo pojava in njegovimi negativnimi okoljskimi učinki. Strokovno predstavljeni in opisani so le krajevno omejeni primeri (na primer posamezna gramoznica), kjer je bila izvedena ali vsaj načrtovana sanacija, o čemer obstajajo projektna poročila, kot v primerih še vedno nedokončane sanacije gudronskih jam na Dravskem polju (Družina 2009; Brenčič 2004), sanacije halde rdečega blata v Kidričevem (Lapajne, Osvald in Vončina 1991), hald živega srebra v Idriji (Pišlar 2010) in sanacije odlagališč na Jarškemrodu (Vrhovšek in Macarol 2000). O posameznih zasutih gramoznicah so bili v dnevnem in tedenskem časopisu pripravljene poljudni in obveščevalni članki, ki se osredotočajo na ogroženost okolja in zdravja ljudi zaradi odlaganja strupenih odpadkov. Tako so na primer na Dravskem polju v številne opuščene gramoznice odlagali ostanke fitofarmaceutskih sredstev. Najbolj znan primer je Kozoderčeva jama, pravzaprav gramoznica, kjer je ocenjena količina kontaminirane zemljine kar 50.000 ton (Kutin 2010). Kozoderčeva jama je bila na prednostni sanacijski listi že v osemdesetih letih prejšnjega stoletja, saj so se takrat na Dravskem polju pojavljala nenadna onesnaženja pitne vode. Analize so pokazale izjemno heterogenost v porazdelitvi strupov ter obširne ostanke sežiganja, ki so ga tam nekoč opravljali (Kutin 2010). Iskra Semič je za proizvodnjo kondenzatorjev uporabila kar 3700 ton PCB-jev, od tega jih je bilo 250 ton kot tehnološki odpadek uničenih v Franciji, kar 70 ton pa jih je končalo v neposredni okolici tovarne in še vedno ogrožajo zdravje ljudi ter narave (Plut in Kompare 1985; Kutin 2010).

Dosedanje raziskave na območju Slovenije, oprte na terenske popise odlagališč odpadkov, so bile omejene in so obravnavale zgolj na površju vidna divja odlagališča odpadkov. Njihovo poznavanje je pomembno tako z vidika same raziskave kot zaradi dejstva, da so pred tridesetimi leti aktivna in vidna odlagališča odpadkov popisana, zdaj večinoma že zasuta.



MANJA ŽEBRE

*Slika 2: Z odpadki zasuta vrtača ima zaradi posedanja odpadkov rahlo vbočen relief.*

Pojav in prostorsko razširjenost divjih odlagališč so prvi raziskovali geografi, ki so že v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja opozarjali na negativne okoljske vplive nenadzorovanega odlaganja odpadkov v naravo. Milan Orožen Adamič je leta 1970 pisal o zaščiti jam in področij na krasu in že takrat obsojal odlaganje odpadkov v kraških kotanjah. Leta 1975 je v soavtorstvu (Orožen Adamič in Pleskovič 1975) in leta 1979 samostojno objavil znanstvena članka o problematiki odlaganja industrijskih odpadkov na komunalna odlagališča v Ljubljani in v gramoznice na severnem obrobju mesta (Orožen Adamič 1979). Leta 1981 je Dušan Plut preučeval odlagališča odpadkov v Blejskem kotu. Eden prvih terenskih popisov divjih odlagališč je bil narejen v nekdanji občini Logatec leta 1988 (Bricelj 1988). Avtor je kartiral odlagališča in že takrat posebej opredelil zasute vrtače. Izpostavil je tudi vrtače, ki so se zapolnjevale z nevarnimi industrijskimi odpadki iz podjetij KLI in Valkarton. Zdaj so te vrtače povsem zapolnjene z odpadki, na njih se razvija prst in odganja rastlinje. Prva temeljita preučitev divjih odlagališč odpadkov na ravni Slovenije je Šebenikova raziskava iz začetka devetdesetih let (Šebenik 1994). Pomembna novost Šebenikovega pristopa v primerjavi z dotedanjimi terenskimi popisi in raziskavami je precej natančnejša obravnava količinskih parametrov odlagališč.

Šebenik je analiziral 3501 vzorčno odlagališče s prostornino odpadkov med 1 in 10.000 m<sup>3</sup>. Definiral je spodnjo mejo za odlagališče, to je 1 m<sup>3</sup>. Na vseh odlagališčih je bilo skupno 163.282 m<sup>3</sup> odpadkov, skupna površina območij odlaganja pa je merila 471.235 m<sup>2</sup>. Povprečno odlagališče je merilo 135 m<sup>2</sup> in v njem je bilo 47 m<sup>3</sup> odpadkov. Povprečna debelina plasti odpadkov je bila 0,35 m in je naraščala od 0,2 m za odlagališča z 1 m<sup>3</sup> odpadnih snovi do več kot meter v razredih nad 500 m<sup>3</sup>. 99 % odlagališč je bilo manjših od 1000 m<sup>3</sup>, kar 74 % pa manjših od 10 m<sup>3</sup>. V razredu najmanjših odlagališč v velikosti do 1000 m<sup>3</sup> je bilo nakopičenih 39 % odpadkov. Glede na to je z gotovostjo mogoče zatrditi, da so bila





manjša odlagališča pomembna tudi z vidika količine odpadkov in ne le zaradi njihove številčnosti (Šebenik 1994). Za primerjavo, statistika kaže, da je v Nemčiji eno nekdanje odlagališče odpadkov na 822 prebivalcev, približno 80 % je manjših od 50.000 m<sup>3</sup> in približno 60 % manjših od 10.000 m<sup>3</sup>. Takšna »majhna« odlagališča ponavadi vsebujejo komunalne odpadke in manjši delež industrijskih odpadkov iz regionalno pomembnih podjetij (Allagaier in Stegmann 2005). Seveda je prava primerjava slovenskih popisov z nemško statistiko zaradi povsem različne metodologije popisov nemogoča. V slovenskih popisih je kot odlagališče odpadkov opredeljen kup odpadnega materiala, ki ima prostornino nad 1 m<sup>3</sup> (Šebenik 1994).

Najsodobnejši vpogled v stanje aktivnih divjih odlagališč v Sloveniji podaja register divjih odlagališč, ki je nastal v okviru akcije Očistimo Slovenijo pod vodstvom društva Ekologi brez meja. V poročilu akcije za leto 2010 (Petrovič 2011) navajajo 11.394 popisanih divjih odlagališč s skupno prostornino 666.712 m<sup>3</sup>. Podrobnejša raziskava na ravni celotne Slovenije bi prav gotovo razkrila mnoga neodkrita okoljska bremena v gramoznicah, glinokopih in tudi kraških vrtačah, breznih, jamah, ledenicah in drugih za ta namen »priročnih« kotanjah.

## 2.2 ONESNAŽEVANJE PODZEMNE VODE

Aktivna odlagališča v opuščeni kopih (gramoznice, glinokopi) so najpogostejša na prodnih in vodonosnih ravninah na obrobju urbanih naselij, kjer so tudi največja. V njih v največjih količinah odlagajo gradbene odpadke, saj kar »kličejo« po tem, da se jih zapolni. Po končanem izkoriščanju vanje navvažajo odpadni gradbeni material in druge odpadke največkrat prav gradbena podjetja in posamezniki,



TONKA POLJŠAK

*Slika 3: Iztekanje onesnažene snovi v reko, ki je podzemno povezana s podtalnico.*

ki so v njih prej izkopavali gramoz in pesek (Breg in Urbanc 2005). Ker odpadke odlagajo nenadzorovano in v nepredstavljivih količinah, so njihovi učinki na podtalnico lahko izjemni. Gradbeni material namreč sestavljajo tudi nevarni odpadki (na primer azbestne salonitne plošče, ostanki barv in lakov, poleg tega pa je zaradi odstranjenega gradiva podtalnica bližje površju (Smrekar s sodelavci 2005).

Velika onesnaženja podtalnice so bila znana že v sedemdesetih in osemdesetih letih 20. stoletja (Breznik 1990). Sredi osemdesetih let so kisline iz Galvanike v Šentvidu nad Ljubljano povsem razžrle betonsko kanalizacijo v prepustnemrodu, ker podjetje pred razširitvijo kromiranja ni saniralo prostorov. Kmalu za tem sta bila s kromom onesnažena najbližja vodnjaka v Klečah, iz katerih so »pitno« vodo dve leti črpali v kanalizacijo. Zaradi onesnaženja vode v črpališču Jarški prod so v Ljubljani jeseni 1988 začeli z več kot enoletnim črpanjem podtalnice v Savo. Kemiki so našli v odpadnih vodah medvoškega Colorja, v podtalnici pod tovarno, v Savi pod Medvodami in v črpališču Jarški prod značilno sledno spojino dimetil-etil-dioksan, ki naj bi bila »prstni odtis« Colorjevih odpadnih vod. Color je uporabljal tudi druge surovine, ki naj bi takrat onesnažile vodo na Jarškemrodu (Breznik 1990) in nakazuje, da se onesnaževala po vodi širijo na zelo velike razdalje in po različnih medijih (površinske tekoče vode, podtalnica). Sava, ki je poleg neposrednih padavin glavna napajalna žila podtalnice Ljubljanskega polja, ima pomembno vlogo tako pri onesnaževanju kot pri samočistilni sposobnosti podtalnice. Leta 1985 je v tovarni Iskra v Stegnah izteklo v tla od 1000 do 2000 litrov petroleja, s čimer je bila zelo ogrožena podtalnica v neposredni okolici Kleč (Breznik 1990).

Gre za primera, ko je v okolje iztekla tekoča snov neposredno iz tovarne in so se zato razmeroma kmalu pokazale posledice. Veliko nevarnih snovi so v tekoči, trdni ali zgoščeni fizični obliki shranjevali v kovinskih sodih, kontejnerjih bodisi na lokaciji tovarne bodisi so jih odpeljali na odlagališča odpadkov. V veliko primerih so te sode pomešali s komunalnimi odpadki in so lahko še vedno med njimi. Če

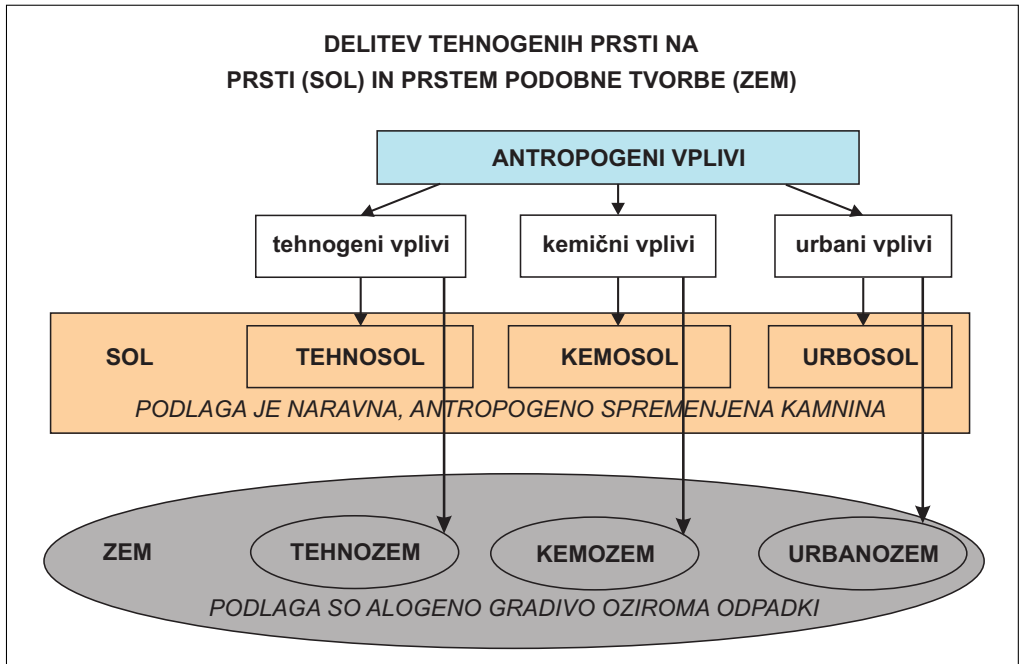
pride do razpoke v sodu in začne snov iztekati, se najprej prepojijo okoliški odpadki in ker pride do reakcije z obdajajočimi snovmi, je izpiranje v podtalnico manjše. Možna je vrsta različnih kombinacij dogajanj in prav vse so špekulacija, dokler z georadarskimi meritvami, s kemičnimi analizami, izkopom odpadkov in podobnim ne naredimo natančne analize lokacije odlagališča.

V Pesniško jamo na Dravskem polju je Petrolova rafinerija odpadnih olj leta 1967 odlagala odpadni kislilni gudron. Kljub pričakovanjem strokovnjakov se strupena snov ni strdila, njena gladina je kljub zaustavljenim dovozom nerazložljivo kolebala, padavinske vode so nekaj strupov odnesle v bližnji Gačniški potok. Sanacija Pesniške jame je bila izvedena šele leta 2009. To je praktično vse, kar je bilo storjeno v približno tridesetih letih, odkar obstajajo načrti, ali bolje rečeno, namere o sanaciji odlagališč strupenih snovi v Bohovi, na Studencih, v Metavi in na Dobravi na Dravskem polju. Pesniška jama je bila huda grožnja okolju, saj je bila pravzaprav odprto jezero ostankov naftno-predelovalne industrije in je vsebovala ogromne količine gudrona (Kutin 2010). Ministrstvo, pristojno za okolje, se je že večkrat zavezalo, da bo obravnavalo gudronske jame in jih saniralo, a se za zdaj še ni skoraj nič zgodilo. Nevarnost ostaja, saj so onesnaževala latentna nevarnost za podtalnico.

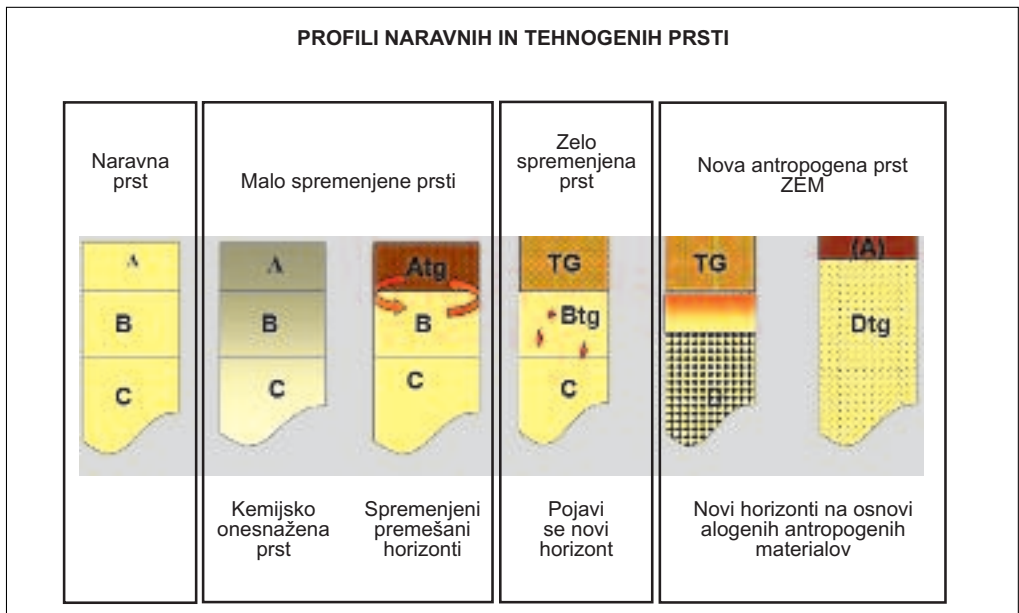
Merljiv učinek na kraško podzemno vodo, natančneje na trdoto vode imajo tudi nepravilno odloženi gradbeni odpadki. To potrjujeta primera vodooskrbe Berlina in Gradca, kjer so po drugi svetovni vojni mestne ruševine na veliko odlagali v gramozne jame. Sčasoma so opazili, da je postala voda iz vodovoda, ki so jo črpali na vplivnem območju gramoznic, tako trda, da ni bila več primerna za pranje perila (Gams 2003). Zaradi dejstva, da so gradbeni odpadki večinoma inertni, jih pogosto najdemo na divjih odlagališčih. Kot taki so primerni za zasipavanje depresij in človek z njimi fizično spreminja relief. V najnovejših raziskavah (Kogovšek 2011) na področju naravnega pretakanja kraške vode skozi različne dele vodonosnika je bil ovrednoten tudi vpliv odloženih in zakopanih komunalnih odpadkov v kraških kotanjah in globelih na jakost in hitrost krasotvornih procesov v podzemlju. Z organskimi snovmi zasičene izcedne vode, ki prenikajo skozi odpadke, povzročajo tvorbo anorganskih kislin. S temi kislinami in drugimi onesnaževali nasičena prenikajoča voda je bolj korozivna, prodira hitreje in oblikuje globlje razpoke v vadozno cono in s tem tudi onesnaževala prenaša v globlje plasti vodonosnika (Kogovšek in Petrič 2012).

### 2.3 PRSTI ODLAGALIŠČ ODPADKOV

Odpadki na neurejenih odlagališčih so podvrženi naravnim procesom, ki jih razgrajujejo in preoblikujejo podobno kot naravno podlago – kamnine. Za prekrivanje in sanacijo odlagališč odpadkov se največkrat uporabijo gradbeni odpadki, ki so v osnovi izdelani iz kamnin in odkladnin (apnenec, prod, lapor, dolomit, glina, ilovica in drugih). So inertni in ker počasneje razpadajo, nimajo večjih negativnih kemijskih in bioloških učinkov na kakovost podzemne vode. S preperevanjem, podobno kot na naravni matični podlagi, na njihovi površini nastajajo razmere za pedogenetske procese. V začetku še tanek sloj prepereelih odpadkov prerastejo pionirske rastlinske vrste, kot so mahovi, ki součinkujejo z odpadki in sooblikujejo nastajanje antropogenih prsti. Takšne prsti, ki jih je človek na kakršenkoli način, tudi s kmetovanjem, preoblikoval ali povsem na novo ustvaril, imenujemo **antropogene prsti** ali **antrosoli**. Prsti in prstem podobne tvorbe, ki so nastale ali bile spremenjene zaradi industrije, rudarjenja in urbanih dejavnosti, pa so **tehnogene prsti** ali **tehnosoli** (Stroganova s sodelavkami 2004). V Rusiji so klasifikacijo tehnogenih in antropogenih prsti glede na stopnjo antropogenega preoblikovanja matične podlage, na kateri nastaja prst, še podrobneje razdelali (sliki 4 in 5). Ločijo kategorijo **prsti** (angleško *soils*), ki nastanejo na naravni matični podlagi, vendar so kemijsko ali biološko onesnažene, ker v njih potekata transport in skladiščenje onesnaževal. Posebna vrsta so **zemi (tehnozemi, kemozemi, urbanozemi)**, ki jih opredeljujejo kot **prstem podobne snovi** (angleško *soil-like bodies*) in s pedogenetskimi procesi povsem na novo nastajajo na antropogeni alohtoni podlagi, na primer na odpadkih. Skladno s tem so antropogene in tehnogene prsti, ki nastajajo na odloženih odpadkih, zemi in jih namesto depozoli lahko poimenujemo **depozemi**.



Slika 4: Delitev tehnogenih prsti glede na antropogene vplive (prirejeno po Stroganova s sodelavkami 2004).



Slika 5: Primerjava med sestavo naravnih in antropogenih prsti (prirejeno po Stroganova s sodelavkami 2004).



Depozemi najpogosteje nastajajo na odlagališčih različne jalovine (zemljine), pepela ter gradbenih in komunalnih odpadkov, ki so nepravilno ali nedokončno sanirana.

Merila za določitev depozemov oziroma tehnzemov so predstavljena v preglednici 1. Bistvena značilnost je navzočnost antropogenega horizonta, ki je nestrukturiran oziroma ima šibko strukturo (na primer debele kamne zgoraj, manjše spodaj), vsebuje primesi antropogenega izvora (koščke stekla, opeke, cementa, keramike in podobno), organsko gradivo v spodnjih horizontih je zunaj koreninske cone in drugo.

*Preglednica 1: Merila za določanje antropogenega horizonta (Stroganova s sodelavkami 2004).*

SESTAVINE	ZNAČILNOSTI
antropogeni delci (steklo, opeka, beton)	rjava barva
zemljina	slabo dekompostiran organski material
naravni sedimenti (glina, prod)	šibka struktura
tehnogeni delci in snovi	izobilje antropogenih snovi
gradbeni odpadki, gospodinjski odpadki	novonastali minerali (pisanost oziroma marmoriranost) heterogenost

## 2.4 RASTLINJE ODLAGALIŠČ ODPADKOV

Z intenzivnostjo posegov v relief in prsti se ti dve okoljski prvini spreminjata, kar vpliva na razvoj rastlinstva. V večjih količinah v naravi odloženi odpadki oblikujejo nov življenjski prostor rastlin in živali; govorimo o sekundarnem habitatu (Geister 1999). Odlagališče odpadkov ima samosvoje rastiščne razmere, ki so za vegetacijo nekakšna ekološka niša (Maurice s sodelavci 1995; Maurice 1998). Na območju odlagališča odpadkov se tako uspešno razvijejo rastline (slika 6), ki izkoriščajo ekološke niše, katerih nastanek povzročijo svojski mikrodejavniki, medtem ko je okoliških rastlin lahko precej manj. Na smetišču pogosto naletimo na »floristični Babilon«, saj so tjakaj poleg smeti prinesena tudi semena in druge oblike gojenih rastlin in lončnic (Geister 1999). Ob potepuških psih, mačkah in podganah so med obiskovalci smetišč tudi okoliške ptice različnih vrst, ki tam tudi gnezdiijo (Geister 1999). Takšna prvotno odprta odlagališča v vrtačah so pogosto »sanirali« kar z nasutjem gradbenega materiala oziroma z izkopnim gradivom. Vendar z nasutjem nastanejo razmere za novo življenjsko okolje, ki pa večinoma traja le krajše obdobje. Sčasoma se zarastejo in spremenijo značaj nekdanje goličave, kar se zgodi tudi, če so pozidana. Kratkotrajnost obstoja je vzeta v zakup, zato so rastline in živali takšnim »ugodnim« življenjskim razmeram prilagodile svoje življenjske cikle (Geister 1999).

Opazno določljive razlike so merljive v gostoti in vrsti rastlinstva:

- redkejše rastlinje in pionirske vrste – odlagališče se šele začenja zaraščati,
- pojavi se za območje neznačilno rastlinstvo, na primer kulturne rastline v gozdu, večja zgostitev evtrofnih pionirskih vrst na manjšem območju,
- drevesa so manjša in mlajša,
- drugo.

Glede na vrsto odloženih odpadkov in vrsto prek njih nasutega pokrova se razvijejo značilne rastlinske vrste. Rastlinski pokrov na območju z odpadki zasute vrtače ali druge kotanje se lahko v pokrajini opazno razlikuje od okoliškega rastlinstva (slika 7). Na začetku se pojavijo pionirske rastline, večinoma pleveli, sčasoma pa se razrastejo še druge rastlinske vrste. Z intenzivnostjo posegov se spreminjajo tudi okoljski učinki. Rastline so odličen pokazatelj talnih sprememb tako na splošno kot tudi v prsti sami. So tudi pokazatelj nerazvitosti prsti, značilne za zasute gramoznice ali vrtače, pri čemer so pogoste značilnosti nerazvitost horizontov, slaba struktura in odsotnost humoznega horizonta. Rastline so tudi zelo dober pokazatelj povečanih hranil v zemljini in se kaj kmalu pojavijo, če so pod njimi odloženi odpadki organskega izvora (slika 7).



PRIMOŽ PIPAN

Slika 6: Na aktivnem odlagališču opečnatih strešnikov se že pojavlja prvo rastlinje.



MATEJA BREG VALJAVEC

Slika 7: Evtrofno rastlinje na površini z odpadki zasute vrtače.



### 3 CILJI RAZISKAVE

Pri izvajanju raziskave smo si zastavili naslednje cilje:

- Preizkusiti izbrane geoinformacijske metode za preučevanje reliefnih posledic odlaganja odpadkov in med njimi izbrati najustreznejšo, ki bo omogočala najboljše rezultate pri določanju lokacij nekdanjih odlagališč, tudi v drugih, enakih in sorodnih pokrajinskih tipih.
- Določiti lokacijo, obseg, obliko, globino in površino reliefnih kotanj, za katere predvidevamo, da so ljudi vabile k nepravilnemu odlaganju odpadkov. Skladno s tem naj se določi vrtače v kraškem pokrajinskem tipu in gramoznice v obrečni prodnati pokrajini, pred njihovim zasutjem z odpadki.
- Določiti lokacije in sodobne značilnosti odlagališč, kot so količina odpadkov, višina nasutja, starost odloženih odpadkov, stanje odlagališča ter pedogeografske in fitogeografske značilnosti odlagališča.

## 4 METODE DELA

Potencialne lokacije nekdanjih, podzemno skritih odlagališč odpadkov v vrtačah in gramoznicah lahko določimo z geoinformacijskimi metodami, ki temeljijo na analizi in primerjavi prostorskih podatkov iz različnih obdobj z ugotavljanjem in lociranjem fizičnih sprememb v reliefu (aeropsnetki, kartografsko gradivo, digitalni model reliefa, digitalni model površja). Sprememba reliefa je prva fizična sprememba v pokrajini, ki nastane z odlaganjem odpadkov v kotanje. Z odlaganjem odpadkov nastajajo nove, preproste antropogene reliefne oblike.

Uspešnost posamezne geoinformacijske metode se razlikuje glede na vrsto in kakovost uporabljenih podatkov, pokrajinski tip preučevanega območja ter zdajšnje in preteklo pokrovnost tal (gozd, grmovje, travnik, njiva, pozidano ...) na območju nekdanjega odlagališča odpadkov. Z geoinformacijskimi metodami dobljeni rezultati so v sodobni pokrajini do določene mere preverljivi s terenskimi metodami, na primer z merjenjem električne upornosti tal, pedološkim sondiranjem in fitocenološkim popisom.

Odlaganje odpadkov v naravno okolje je v pokrajini povzročilo različne reliefne spremembe, od bolj blagih do zelo izrazitih, ki jih lahko na različne načine kvantitativno opredelimo z reliefnimi analizami. Z uporabo digitalnih modelov reliefa nekdanje pokrajine dobimo poleg lokacije, oblike in velikosti tudi podatke o geometriji površja pred odlaganjem odpadkov oziroma zasipavanjem. Koristne informacije lahko izločimo in vizualiziramo skozi prostorske analize ob pomoči geografskih informacijskih sistemov (Podobnikar in Možina 2008).

### 4.1 3R PRISTOP

Nekdanja odlagališča odpadkov smo določali z uporabo geoinformacijskih metod, ki so zasnovane na preučevanju reliefa. Gre za neposredno povezavo med raziskovanjem degradacije in varstva okolja ter geomorfologije. Geomorfološki oziroma 3R pristop temelji na analizi trirazsežnostnih reliefnih



Slika 8: Kupi gradbenih odpadkov?



podatkov in digitalnih modelih reliefa. Glede na starost površja, ki ga preučujemo, ločimo geoinformacijske analize nekdanje pokrajine, temelječe na arhivskih letalskih posnetkih, starih zemljevidih in digitalnih modelih nekdanje pokrajine, ter metode za preučevanje zdajšnje pokrajine s pomočjo letalskih posnetkov, satelitskih posnetkov in digitalnih modelov površja. Pomemben segment je tudi primerjava zdajšnje in nekdanje pokrajine z vidika antropogenih reliefnih sprememb. Teoretično je sodobna pokrajina obdobje po zasutju, nekdanja pokrajina pa obdobje nastanka gramoznice ali stanje naravne vrtače pred obsežnejšim zasipavanjem obeh vrst kotanj z odpadnim materialom. Cilj analize nekdanje pokrajine je **ničelno ali izhodiščno stanje kotanj**, ki ga časovno lahko opredelimo z izhodiščnim letom (vezanim na leto aerosnemanja), v katerem smo na obeh vzorčnih območjih naredili presek stanja pokrajine v več različnih letih.

Poimenovanje »3R PRISTOP« (angleško *3D approach*) je vezano na tri načine oziroma tri dele preučevanja pokrajine (nekdanja, zdajšnja, primerjava obeh) z vidika reliefnih značilnosti (R), povezanih z odlaganjem odpadkov. 3R je tudi kratica za trirazsežnost (3R), ki je v metodologiji še posebej poudarjena z analizo trirazsežnostnih modelov. 3R modeli so digitalni model reliefa, digitalni model višin in digitalni model pokrajine. V nekdanji pokrajini preučujemo naravne in antropogene kotanje, ki so bile »privlačne« za odlaganje odpadkov, v sodobni pa določamo antropogene mikroreliefne oblike oziroma pojave, ki so v določenem reliefnem tipu tujek.

Geoinformacijske in terenske metode določanja potencialnih lokacij nekdanjih odlagališč odpadkov temeljijo na spoznanjih in izkušnjah, ki smo jih v okviru raziskovalnih projektov evidentiranja divjih odlagališč odpadkov na vodovarstvenem območju Jarški prod (Smrekar s sodelavci 2005) in na območju vodovarstvenih območij Mestne občine Ljubljana (Smrekar s sodelavci 2006) pridobili s terenskimi popisi. Z njimi ugotavljamo nekatere reliefne značilnosti na območju neaktivnih odlagališč, ki se vidno razlikujejo od tistih zunaj njih. Opazno določljive so razlike v mikroreliefu:

- nad okolico (kupi materiala) dvignjeno nasutje pomeni izbočeno antropogeno reliefno obliko,
- nasutje v vrtači ali gramoznici je izravnano z okolico in se poseda pod nivo okolice,
- grbinast relief v aluvialnem reliefu je neznačilen in je posledica razgradnje ter nehomogenega posejanja različnih odpadkov;
- zaznavne so antropogene anomalije znotraj naravnih reliefnih oblik (odlagališče odpadkov v suhi strugi).

Postopek odkrivanja in preučevanja nekdanjih odlagališč odpadkov sestavljajo štiri faze, v okviru katerih odkrivanje potencialnih lokacij nekdanjih odlagališč poteka bodisi posredno, prek določanja kotanj (nekdanja pokrajina) bodisi neposredno, z določanjem območij, ki imajo reliefne značilnosti nekdanjih odlagališč (izravnano, izbočeno in podobno).

**FAZA 1 – ANALIZA KOTANJ V NEKDANJI POKRAJINI:** Določitev izhodiščnega stanja kotanj (ničelno stanje) pred njihovim zasutjem:

- lega kotanje,
- oblika, obseg in meja kotanje pred zasipavanjem,
- globina kotanje, ki je podlaga za določanje količine v njej odloženih odpadkov,
- verjetnost lokacij, ki so potencialne gramoznice ali vrtače – karta verjetnosti.

**FAZA 2 – ANALIZA ODLAGALIŠČ V ZDAJŠNJI POKRAJINI:** Določanje z odpadki zasutih kotanj prek zaznavanja geomorfoloških posledic v sodobni pokrajini, določljivih z geoinformacijskimi obdelavami in analizami 3R modelov. Rezultate se dopolni z izsledki terenskega dela.

**FAZA 3 – PRIMERJAVA NEKDANJE IN ZDAJŠNJE POKRAJINE:** Temelji na primerjavi 3R modelov nekdanje in sodobne pokrajine, njen namen pa je določitev zasutih kotanj.

**FAZA 4 – SINTEZA IN KATASTER:** V sklepnih fazah so sintezno predstavljeni rezultati, izdelani pa se tudi kataster potencialnih lokacij nekdanjih odlagališč odpadkov.

Preglednica 2: Shematski prikaz 3R koncepta.

	PODATKI	METODA	CILJI	REZULTATI
NEKDANJA POKRAJINA	<b>FAZA 1 – izhodišno stanje</b> arhivski aeroposnetki	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vizualna aerofotointerpretacija</li> <li>• metode digitalne fotogrametrije za izdelavo 3R modelov nekdanje pokrajine</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3R modeli nekdanje pokrajine</li> <li>• lega kotanj</li> <li>• oblika in površina kotanj</li> </ul>	izhodišno oziroma ničelno stanje kotanj pred odlaganjem odpadkov
	3R modeli nekdanje pokrajine	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vizualizacijske tehnike in vizualno določanje vbočenih reliefnih oblik</li> <li>• avtomatsko razpoznavanje kotanj na 3R modelih nekdanje pokrajine (geomorfometrične analize)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lega kotanj</li> <li>• oblika in površina kotanj</li> <li>• globina kotanj</li> </ul>	
ZDAJŠNJA POKRAJINA	<b>FAZA 2A – nekdanja odlagališča odpadkov</b> 3R modeli sodobne pokrajine	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vizualizacijske tehnike in vizualno določanje z odpadki zasutih naravnih (vrtače, suhe struge) in antropogenih (gramoznice) kotanj</li> <li>• avtomatsko razpoznavanje z odpadki popolnoma zasutih kotanj na 3R modelih zdajšnje pokrajine (geomorfometrične analize)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lega kotanj</li> <li>• oblika (izbočeno, vbočeno, grbasto površje antropogenega izvora) kotanj</li> </ul>	potencialne lokacije nekdanjih odlagališč v kotanjah
	<b>FAZA 2B – nekdanja odlagališča odpadkov – terensko delo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• merjenje električne upornosti tal</li> <li>• pedološko sondiranje</li> <li>• kartiranje rastlinja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• potrditi ali ovreči določeno lokacijo za območje nekdanjega odlaganja odpadkov</li> </ul>	preseki izbranih odlagališč v kotanjah fitocenološki popisi
PRIMERJAVA OBEH POKRAJIN	<b>FAZA 3 – nekdanja odlagališča odpadkov v kotanjah</b> 3R modeli nekdanje pokrajine in 3R modeli sodobne pokrajine	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vizualna in kvantitativna primerjava (odštevanje površja) 3R modelov pokrajine iz različnih obdobj</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lega odloženih odpadkov</li> <li>• oblika in površina odloženih odpadkov</li> <li>• debelina plasti odloženih odpadkov</li> </ul>	Karta potencialnih lokacij nekdanjih odlagališč odpadkov v kotanjah za Logaški kras in Ljubljansko polje
	<b>FAZA 4 – sinteza in kataster</b>			

## 5 GEOINFORMATIKA IN TRIRAZSEŽNOSTNI MODELI POKRAJINE

**Geoinformatika** je razmeroma nova veda, ki ponuja nabor metod in orodij za raziskave na različnih strokovnih področjih, povezanih z varovanjem in upravljanjem kulturne dediščine (geologija, naravne nesreče, promet, dostopnost in podobno). Je samostojna znanstvena disciplina, ki omogoča usklajen celosten pristop k pridobivanju, shranjevanju, analizi, modeliranju ter predstavitvi pojavov in procesov v pokrajini (Ehlers 2008). Za razliko od geoinformatike je **GIS** (geografski informacijski sistem) nabor osnovnih in kompleksnejših orodij, ki omogoča merjenje, načrtovanje in analizo realnega sveta (Longley s sodelavci 2005). Pri geoinformatiki je treba poudariti pomen končne vsebine oziroma interpretacije rezultatov, ne le tehničnega postopka samega po sebi. Dodana vrednost geoinformacijske znanosti k preučevanju nekdanjih odlagališč odpadkov je prav interpretacija na novo pridobljenih podatkov z GIS analizami.

Soroden izraz, ki se pogosteje uporablja v geografiji sorodnih vedah geodeziji in gradbeništvu, je **geomatika** (angleško *geomatics*), vendar je bolj tehnične narave in usmerjen v meritve in zajem podatkov (Ehlers 2008). V Sloveniji je o geomatiki, torej tudi o geoinformatiki, pisal geodet Joc Triglav (1996). V posebni izdaji revije *Življenje in tehnika* z naslovom *Geomatika – mozaik merskih metod* jo predstavi kot vedo, ki združuje strokovna področja geodezije, kartografije, fotogrametrije, daljinskega zaznavanja in informacijske tehnologije. Vsem naštetim vedam je temeljni skupni imenovalec postala računalniška tehnologija, ki postopoma briše meje med njimi. Pojem geomatika je leta 1975 prvi uporabil francoski geodet Bernard Dubuisson in Quebeška terminološka banka (francosko *Banque de Terminologie du Québec*) ga je kaj kmalu uradno priznala. V francosko govorečih državah (Francija, Kanada) je postal zelo priljubljen, a se ni nikoli zares uveljavil v ameriški literaturi, kjer zanj uporabljajo besedno zvezo **geografska informacijska znanost** (angleško *geographical information science*). Pojem geomatika nima stroge definicije, saj se z novimi znanstvenimi dognanji in s hitrim tehnološkim razvojem njeno področje nenehno širi (Triglav 1996). Geomatika omogoča in hkrati zahteva sistematičen ter interdisciplinaren pristop za vzpostavitev in vodenje celotne infrastrukture prostorskih informacij, namenjene spremljanju dogajanja v okolju ter načrtovanju posegov v prostor. Najpogosteje se jo opredeljuje kot znanost in tehnologijo za upravljanje geografsko lociranih informacij, vključno z njihovim pridobivanjem, shranjevanjem, preučevanjem in razširjanjem (Triglav 1996). Drugače kot v geodeziji se je v slovenski geografiji bolj uveljavil izraz geoinformatika (Krevs 2002).

V geografiji je uporaba digitalnih modelov reliefa (DMR) zelo razširjena na področjih geomorfologije, naravnih nesreč, varstva okolja, kartografije in podobno. Zato v monografiji namenjamo osrednje mesto različnim oblikam **trirazsežnostnih modelov** (**3R model**, angleško *three-dimensional / 3D*) Zemljinega površja in geoinformacijskim metodam, s katerimi lahko odkrivamo in preučujemo nekdanja odlagališča odpadkov.

### 5.1 DALJINSKO ZAZNAVANJE IN FOTOGRAMetriJA

V šestdesetih letih 20. stoletja so začeli umetni sateliti na Zemljo pošiljati prve slikovne in merske (kvantitativne) podatke o našem planetu. Za tak posredni način zbiranja informacij na daljavo so v Združenih državah Amerike začeli uporabljati izraz daljinsko zaznavanje (angleško *remote sensing*). Čeprav se je uveljavil za pridobivanje informacij s pomočjo snemanj s satelitov in drugih vesoljskih plovil, se je s časom razširil tudi na pridobivanje informacij z letalskimi snemanji.

Dandanes kot daljinsko zaznavanje razumemo vsako zbiranje informacij o obliki in lastnostih oddaljenih objektov (Triglav 1996). V splošnem lahko definicijo daljinskega zaznavanja zapišemo takole (Oštir 2006): »... *Daljinsko zaznavanje je znanost pridobivanja informacij o površju Zemlje, ne da bi z njo prišli v neposredni stik. Pri tem zaznavamo in zapisujemo odbito ali sevano elektromagnetno valo-*

*Slika 9: Levo je digitalni model pokrajine (tudi digitalni model površja), desno pa digitalni model reliefa (© GEOIN 2008). ► str. 26–27*







vanje, ga obdelujemo, analiziramo in uporabimo v različnih aplikacijah ...». Pri daljinskem zaznavanju se najpogosteje ukvarjamo z opazovanjem Zemlje, ki temelji na interakciji vpadnega elektromagnetnega sevanja (svetlobe) z opazovanimi predmeti. Pri zajemanju podatkov je imela že od nekdaj pomembno vlogo fotogrametrija. »... *Fotogrametrija je znanost o pridobivanju metričnih podatkov o okolju in objektih iz fotografij* ...« (Triglav, Kosmatin Fras in Gvozdanovič 2000). Fotogrametrične zakonitosti in metode so osnova za izdelavo topografskih kart, digitalnih modelov reliefa in ortofoto načrtov. V Sloveniji se je fotogrametrija razvijala pod okriljem geodetske stroke, saj je klasična, analogna fotogrametrija zahtevala posebna tehnična znanja, uporabo matematičnih algoritmov in drago tehnično opremo. Skladno s tem druge stroke, kot na primer geografija, v svojih raziskavah možnosti fotogrametričnih metod niso kaj prida koristile. Fotogrametrija kot stroka z rahlim pridihom ekskluzivnosti je bila v preteklosti vselej precej odmaknjena od vsakdanjega življenja. V času analogne in analitične fotogrametrije so bili strokovnjaki za fotogrametrijo zelo redki, saj je bilo njihovo delo vezano na izredno drago in zahtevno opremo. Temu je bila prilagojena tudi vsebina njihovega dela. V zadnjih letih je napredek digitalne fotogrametrije in digitalnih ortofotoobdelav tehnologiji satelitskega daljinskega zaznavanja in fotogrametrije zelo zbližal, predvsem v načinu shranjevanja, obdelave, kartografskih prikazov ter uporabe v sistemih GIS. Lahko bi rekli, da se meje med obema tehnologijama počasi brišejo (Triglav 1996). S pojavom digitalne fotogrametrije v sodobnih programskih orodjih je ta veda postala dostopnejša in »prijaznejša« tudi raziskovalcem drugih strok.

V Sloveniji se je daljinsko zaznavanje začelo po drugi svetovni vojni, ko je Vojnogeografski inštitut iz Beograda (v nadaljevanju VGI) opravil letalska snemanja, večinoma za vojsko. Na začetku sedemdesetih let, ko so letalska snemanja Slovenije postala bolj civilna domena, so se izvajala pod upravo Geodetske uprave in s tehnično podporo Geodetskega zavoda, ki je za ta namen pridobil ustrezno letalsko in fotografsko opremo. Sistematična snemanja se pod okriljem Geodetske uprave pod delovnim naslovom **ciklično aerofoto snemanje** (v nadaljevanju CAS) periodično izvaja od leta 1975. V tem letu je bilo celotno območje takratne Socialistične republike Slovenije prvič posneto v merilu 1 : 17.500 v smeri vzhod–zahod. Prvi posnetki so bili v črno beli tehniki, v osemdesetih letih 20. stoletja jo je nadomestila barvna tehnika (barvni in infrardeči filmi). Prvi infrardeči aeroposnetki Slovenije so iz leta 1980, ko je aerosnemanje celotno območje Slovenije pokrilo v merilu 1 : 30.000 in je bilo izvedeno v smeri sever–jug. Snemanje v bližnjem infrardečem delu spektra je omogočalo boljšo interpretacijo v kmetijstvu, gozdarstvu, hidrologiji in geologiji. Prav barvna in infrardeča fotografija ter njuna dostopnost, najprej ožji in nato še širši javnosti, je dalo zagon razvoju raznih geoinformacijskih metod za obdelave daljinskih podob pokrajine.

Takratni posnetki imajo pečat z napisom »*POVERLJIVO*«, kar v srbohrvaščini pomeni zaupno, uporabno samo v vojaške namene, a je zdaj večina že prosto dostopna za vpogled v državnem Arhivu aeroposnetkov.

Za posamezne dele Slovenije, na primer ob trasi južne železnice in rapalski meji, obstajajo kakovostni arhivski aeroposnetki, ki so bili pod okriljem angleških (Royal Air Force – RAF) in nemških (Luftwaffe) letalskih vojaških sil posneti že med drugo svetovno vojno. Cilj angleških snemanj so bila pomembna strateška območja, zato so snemali koridor ob južni železnici ter ob njej ležeča mesta. Izvirajo iz let 1943 in 1944 in jih hranijo v kraljevih arhivih Združenega kraljestva (© RACHMS, Edinburg na Škotskem).

## 5.2 TRIRAZSEŽNOSTNI (3R) MODELI POKRAJINE

Za trirazsežnostno oziroma tridimenzionalno predstavitev pokrajine obstajajo različni načini in še bolj različna poimenovanja. Ker znotraj različnih znanstvenih ved niso usklajena in poenotena, prihaja do napačne rabe in pomenske zmede. V znanstveni literaturi ni usklajene in poenotene rabe izrazov **digitalni model višin** (v nadaljevanju **DMV**, v angleščini *digital elevation model – DEM*), **digitalni model reliefa** (v nadaljevanju **DMR**, angleško *digital terrain model – DTM*) in **digitalni model površja** (angleško *digital surface model – DSM*).

Izraz digitalni model reliefa se je pri nas uveljavil za digitalno predstavitev višin nekega območja. Načeloma je na razpolago več možnih prikazov reliefa. **Digitalni model reliefa** je kompleksna digitalna predstavitev, ki vključuje višinske točke reliefa, značilne črte in točke terena ter celo oblike površja. **Digitalni model višin** (angleško *digital elevation model*) pa naj bi bil sloj, v katerem so shranjene samo višine točk določenega območja (Kvamme s sodelavci 1997). DMR je zvezno površje, ki poleg vrednosti nadmorskih višin v mreži (znano kot DMV) vključuje tudi druge značilnosti, ki opisujejo topografijo reliefa, kot so pobočja, lomne linije in podobno (Podobnikar 2005). Znana je tudi nekoliko bolj splošna in tehnično naravnana definicija (Perko 2007, 15): »... *Digitalni model višin je računalniška zbirka podatkov, s katero lahko, na primer v geografskem informacijskem sistemu, prikažemo navidezno sliko površja, virtualni relief* ...«. Izraz digitalni model površja – DMP je v večini primerov uporabljen za model, ki predstavlja vse prvine površja, tudi antropogene. Za razliko od DMR in DMV predstavlja površje, ki ga lahko sestavlja odprti relief, lahko je poraščeno z rastlinstvom ali pozidano s stavbami (Li, Zhu in Gold 2005). Nekateri slovenski (Perko 2001 in 2007; Podobnikar 2001) kakor in tuji (Longley s sodelavci 2005) avtorji izpostavljajo izraz **digitalni model pokrajine** (v nadaljevanju **DMP**, angleško *Digital landscape model – DLM*). Gre za ekvivalent izrazu digitalni model površja, ki je bolj uveljavljen v tehničnih vedah, na primer geodeziji, matematiki.

Na sliki 9 je primerjava značilnosti digitalnega modela površja oziroma digitalnega modela pokrajine (levo) in digitalnega modela reliefa (desno), pri čemer sta oba 3R modela narejena na podlagi LiDAR podatkov, zajetih z laserskim skeniranjem površja (© GEOIN 2008). Bistvena razlika je, da so na DMP vidne stavbe in drevesa, medtem ko so bile na DMR te prvine z metodami klasifikacije podatkov odstranjene.

V svetovni literaturi o izdelavi, uporabi in analizi 3R modelov (Ackerman 1978; Doyle 1978; Burrough in McDonnel 1998; Kraus 2007) se za trirazsežnostne (oziroma 2.5 R) predstavitve pokrajine največ uporabljata izraza DMR (angleško *DTM*) in DMV (angleško *DEM*) medtem ko se DMP (angleško *DSM*) uporablja predvsem v gozdarskih in arhitekturnih študijah.

### 5.2.1 IZDELAVA DMR

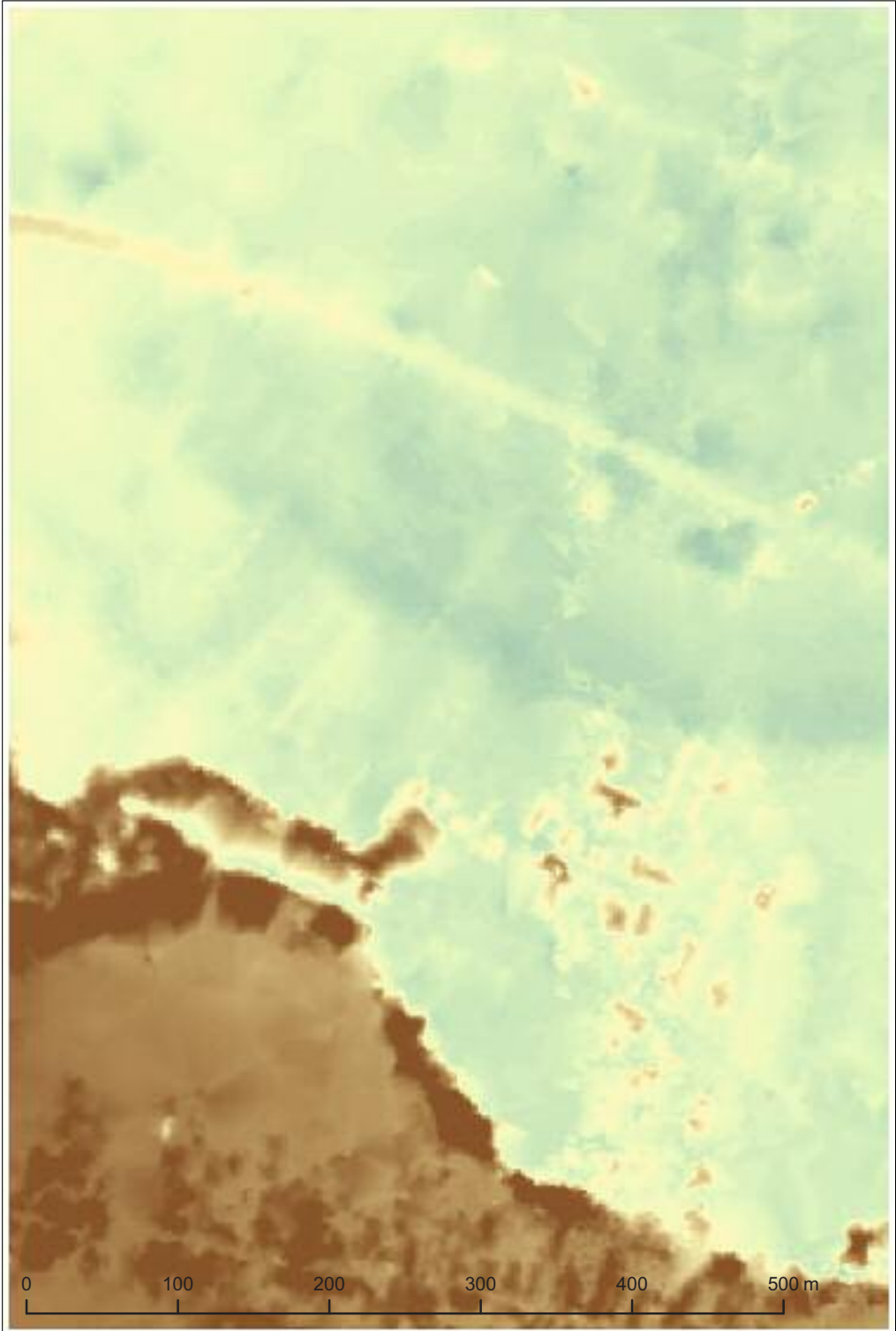
Za izdelavo DMR obstaja več metod, ki zagotavljajo različno natančne predstavitve površja in omogočajo preučevanje reliefa ter pokrajine. DMR lahko izdelamo sami na podlagi izvirmih terenskih meritev ali pa podatke o reliefu povzamemo iz obstoječih kartografskih virov (na primer digitaliziramo plastnice in interpoliramo). Izvirne terenske meritve so lahko bodisi klasična geodetska izmera točk na terenu bodisi snemanja z različnimi metodami daljinskega zaznavanja. Najpogostejša načina izdelave 3R modelov temeljita na daljinskem zaznavanju in pridobivanju podatkov o višinah objektov na Zemljinem površju. Gre za **fotogrametrično snemanje površja** in **lasersko skeniranje površja**. Fotogrametrično snemanje površja je že desetletja uveljavljena metoda, ki se deli na aerosnemanje, kar dobesedno pomeni zračno snemanje oziroma snemanje z neba (letalsko, satelitsko), in terestično snemanje, pri katerem je snemalna naprava na Zemljinem površju. Iz daljinsko zaznanih podob lahko s fotogrametričnimi metodami izdelamo DMV (Kvamme s sodelavci 1997). V fotogrametriji se za 3R prostorsko rekonstrukcijo upodobljenih objektov običajno uporabljajo stereofotografije, posnete z aerosnemanjem ali terestičnim snemanjem (Triglav, Kosmatin Fras in Gvozdanovič 2000). Pri izdelavi modelov reliefa za večja območja se poleg letalskih posnetkov uporabljajo tudi satelitski. Njihova prednost je velika pokritost površja (en sam stereopar), največja pomanjkljivost pa prostorska ločljivost, ki z uvedbo novih visokoločljivih satelitskih podob ni več tako izrazita (Marsetič 2005; Marsetič in Oštir 2007).

Novejši in natančnejši način je LiDAR, tehnologija daljinskega zaznavanja, ki se je razvila v osemdesetih letih 20. stoletja. Na letalu (lahko tudi na zemeljskem površju – terestični LiDAR) nameščeni

*Slika 10: Levo je LiDAR DMP za leto 2008 (© GEOIN 2008), desno pa fotogrametrični DMP za leto 1959.*

► str. 30–31





laserski skener oddaja in sprejema žarke, ki se odbijajo od različnih točk na Zemljinem površju. Nadmorska višina točke, od katere se je žarek odbil, se določi na podlagi časa potovanja žarka. Rezultat laserskega skeniranja je oblak georeferenciranih točk, ki ga je treba obdelati in točke razvrstiti (angleško *classification*) glede na zaporedje odbojev od iste točke. Na isti točki  $(x, y)$  se lahko laserski žarek odbije na različnih višinah  $(z_1, z_2, z_3 \dots z_n)$  in tako dobimo podatke o višinah različnih objektov. V primeru iglastega gozda je vrednost prvega odboja  $z_1$ , podatek za višino vrhov dreves, vmesni odboj  $z_2$ , se lahko odbije tudi od vej, in šele zadnji odboj, na primer  $z_3$ , predstavlja gola tla oziroma relief. V primeru neolistanega listnatega gozda lahko tudi prvi odboj  $(z_1)$  prodre do golih tal. Glede na to, od kod se je laserski žarek odbil (visoko, srednje ali nizko rastlinstvo, stavba, voda, gola tla) se izdelajo digitalni model površja oziroma digitalni model pokrajine, digitalni model stavb, digitalni model rastlinstva in digitalni model reliefa.

Z vidika izdelave 3R modela je prvi rezultat tako fotogrametrične obdelave aerofotografij kot tudi laserskega skeniranja DMP (slika 10). Za izdelavo DMV ali DMR je treba obkrajati tako drevno rastlinstvo kot antropogene prvine pokrajine (stavbe, mostovi in podobno).

Za podrobnejše analize nekdanje pokrajine in njenih značilnosti je smiselno izdelati 3R modele, ki glede na kakovost teoretično omogočajo določanje trirazsežnostnih značilnosti objektov in primerjavo z DMR-ji ali DMP-ji zdajšnje pokrajine. Kadar imamo na razpolago arhivske stereoposnetke, uporabimo metode digitalne fotogrametrije. Trirazsežnostna predstavitev nekdanje pokrajine je možna na podlagi fotogrametrične stereooddelave aeroposnetkov oziroma iz njih izdelanih topografskih kart. V Sloveniji so se divja odlagališča odpadkov prostorsko in količinsko razmahnila v obdobju industrializacije in urbanizacije po drugi svetovni vojni, njihova nebrzdana rast pa sovпада tudi s številnimi nacionalnimi infrastrukturnimi projekti, ki so vzpodbujali letalska snemanja. Tovrstna, posebna aerofoto snemanja Slovenije (PAS), so pomemben vir aeroposnetkov za obdobje do leta 1975, ko se začne obdobje rednih cikličnih aerofotosnemanj Slovenije (CAS).

## 5.2.2 OBSTOJEČI DMR-JI SLOVENIJE

Do konca devetdesetih let 20. stoletja sta bila za območje celotne Slovenije izdelana DMV-ja s prostorsko ločljivostjo osnovne celice 500 in 100 m v državnem koordinatnem sistemu D48 (Rihtaršič in Fras 1991, povzeto po Perko 2007). Nadmorske višine so zajemali ročno, s pomočjo kvadratne mreže, izrisane na folijo, in to z oglišč kvadratov, določali pa so jih z linearno interpolacijo med višinskimi črtami. Uporabljali so topografske načrte v merilih 1 : 5000 in 1 : 10.000, kjer pa ti še niso bili izdelani, pa tudi topografske karte v merilu 1 : 25.000 (Rihtaršič in Fras 1991, povzeto po Perko 2007). Stome-trski digitalni model višin sestavljajo podatki o nadmorskih višinah točk, ki so od severa proti jugu oziroma vzhoda proti zahodu oddaljene 100 m in so oglišča kvadratnih celic z osnovnico 100 m, diagonalo 141 m in površino 1 ha (Perko 2001). Prav oddaljenost med točkami pa zmanjšuje njegovo uporabnost, saj se reliefne oblike, ki niso bistveno večje od 100 oziroma 141 m, povsem izgubijo ali vsaj bolj ali manj popačijo. To je še posebej pomembno pri preučevanju pokrajin s številnimi majhnimi reliefnimi oblikami, kakršne so značilne tudi za kraški relief, ki zavzema skoraj polovico Slovenije (Perko 2007). Leta 2000 je nastal petindvajsetmetrski digitalni model višin, imenovan interferometrični radarski digitalni model višin InSAR DMV 25. Sestavljajo ga podatki o nadmorskih višinah točk, ki so od severa proti jugu oziroma od vzhoda proti zahodu oddaljene 25 m in so oglišča kvadratnih celic z osnovnico 25 m, diagonalo 35 m in površino 625 m<sup>2</sup>. Model, ki je bil geomorfološko testiran in ustrezno nadgrajen, je še posebej primeren za morfometrične analize (Perko 2007). Petindvajsetmetrski digitalni model višin so leta 2005 za Geodetsko upravo Republike Slovenije izdelali na Znanstvenoraziskovalnem centru Slovenske akademije znanosti in umetnosti (Podobnikar 2003 in 2005).

DMV 12.5, izdelan na Znanstvenoraziskovalnem centru Slovenske akademije znanosti in umetnosti leta 2005, je bil izdelan iz raznih geodetskih podatkov. Uporabljena je bila metoda utežnega seštevanja virov z geomorfološkimi popravki. Njegove prednosti so visoka ločljivost, navpična natančnost in geo-



morfološka kakovost. Pokriva tudi bližnjo okolico Slovenije. Podatki so primerni za izvajanje prostorskih analiz, vizualizacijo oziroma upodabljanje prostora, izdelavo topografskih in tematskih kart ter v druge namene. DMV 5, ki ga je izdelal Geodetski zavod Slovenije, ima ločljivost 5 m. Izdelan je z avtomatskim stereovrednotenjem aeroposnetkov iz leta 2006, s pomočjo korelacije, tam pa, kjer stereovrednotenje ni možno, iz raznih geodetskih podatkov. Na zaraščenih območjih so bili uporabljeni starejši posnetki in DMV Slovenije (12,5 × 12,5 m; Podobnikar 2008).

### 5.2.3 AEROPOSNETKI IN 3R MODELI V OKOLJSKIH RAZISKAVAH

Aerofotointerpretacija aeroposnetkov je prva geoinformacijska metoda, ki je bila uporabljena predvsem pri preučevanju vidnih divjih odlagališč odpadkov. Ob poskusu določanja gramoznic je segla tudi v metodologijo določanja prikritih odlagališč odpadkov. Metoda vizualne aerofotointerpretacije je povsem neavtomatizirana metoda za razpoznavanje posnetih objektov oziroma določanje značilnosti slike. Temelji na značilnosti človeškega vida, ki je slikovne prvine in realne objekte sposoben razpoznavati predvsem v vidnem delu spektra. S pomočjo vizualne aerofotointerpretacije lahko na barvnih (RGB) in črno-belih oziroma PAN posnetkih, ki jih po potrebi prej računalniško obdelamo in izboljšamo, razpoznavamo in določamo realne objekte na podlagi njihovih značilnosti, oblike, barve, višine ali globine, teksture in velikostnih razmerij. Omenjene lastnosti predstavljajo **interpretacijski ključ**. Leta 1988 je bila aerofotointerpretacija uporabljena pri iskanju gramoznic in neurejenih odlagališč v tedanji ptujski občini (Špes s sodelavci 1988). Pri pridobivanju tovrstnih podatkov avtorji ne omenjajo nobenih težav, kar je verjetno posledica izjemne vidnosti gramoznic v slabo poraščeni in kultivirani pokrajini ter obravnave zgolj večjih odlagališč. Stritih in Šebenik (1991) sta rezultate aerofotointerpretacije primerjala z rezultati sistemskega pregleda terena in ugotovila, da aerofotointerpretacija tedanjih letalskih posnetkov ni popolna, saj se pojavi določena izguba podatkov. Z aerofotointerpretacijo se neposredno zajame le 31 % odlagališč, ki so bila sicer ugotovljena s popolnim terenskim pregledom ozemlja. Kar 69 % lokacij, ki so jih na podlagi aerofotointerpretacije zaznamovali kot možna odlagališča, se je izkazalo za napačne (Stritih in Šebenik 1991). Sodobni prostorsko visokoločljivi aeroposnetki in iz njih izdelani digitalni digitalni ortofoto načrti (25 cm, 50 cm, CAS 2006, 25 cm DOF-i, MOL 2005) zagotavljajo dosti boljše rezultate tudi pri tovrstnem razpoznavanju vidnih divjih odlagališč odpadkov, kar v raziskavi o uporabnosti aerofotointerpretacije za razpoznavanje divjih odlagališč ugotavlja tudi Matos (2007).

Aeroposnetki so bili za določanje odlagališč odpadkov uporabljeni v številnih mednarodnih raziskavah, katerih vidnejši rezultati in ugotovitve so zbrani in predstavljeni v prispevku Sloneckerja in sodelavcev (2010). Poleg letalskih posnetkov so v Sloveniji v uporabi tudi različni satelitski posnetki (Landsat, Spot, Ikonos, Quickbird in drugi). Aeroposnetki Slovenije so za znanstvene namene dostopni brezplačno, medtem ko je za širšo uporabo satelitskih posnetkov precejšnja ovira njihova cena. Seveda imajo tako eni kot drugi še druge prednosti in slabosti, ki jih ocenimo glede na zelene rezultate. Prednost aeroposnetkov je, da z njimi lahko v zelenem merilu, ob izbranem času in v primernih vremenskih razmerah posnamemo natančno določena manjša območja. Na drugi strani so satelitski posnetki vezani na orbite satelitov in na vnaprej programiran urnik prehodov čez kako območje, pri čemer so posnetki narejeni ne glede na vremenske razmere (Triglav 1996).

Daljinsko zaznavanje lahko uspešno uporabimo za monitoring večjega ozemlja, tudi ugotavljanje verjetnih lokacij divjih odlagališč odpadkov in zagotavljanje ažurnih informacij o njihovi prostorski razporeditvi. Daljinsko zaznani podatki so uporabni tako za »vizualno« identifikacijo odpadnega materiala kakor za določanje posrednih posledic, ki se zaradi odloženih odpadkov odražajo na naravnih pokrajinskoekoloških prvinah, kot so kontaminirane prsti, poškodbe rastlinstva (vegetacijski stres, angleško *vegetation stress*) in neobičajno visoke temperature prsti, ki so posledica organske fermentacije ob proizvodnji bioplina (Silvestri in Omri 2008).

Pri številnih uporabah GIS je najpomembnejši, osnovni sloj digitalni model reliefa (DMR). Iz njega je mogoče pripraviti vrsto informacij o prostoru. Preproste analize DMR se uporabljajo za določanje

kvantitativnih sprememb v površju, ki so posledica delovanja naravnih in antropogenih procesov, kakršno je na primer odlaganje odpadkov.

Primer preučevanja opaznejših reliefnih sprememb, ki jih je povzročil človek, so tudi odprti kopi. S fotogrametrično obdelavo primernih arhivskih stereoposnetkov so za območje površinskega izkopa premoga v Bílini na Slovaškem izdelali 3R model površja pred njegovim izkopavanjem, ki je bil podlaga za izračun dozdajšnje prostornine izkopanega premoga. Ugotovili so, da so doslej izkopali skoraj 1 milijardo kubičnih mestrov premoga (Pacina in Weiss 2011). Geomorfološko zanimiva metoda je bila uporabljena za določanje hitrosti odmikanja klifa oziroma stopnje abrazije na območje Južnega Montereyskega zaliva (Southern Monterey Bay) v ameriški zvezni državi Kaliforniji (Conforto Sesto 2004). Avtor je metode digitalne fotogrametrije uporabil za izdelavo digitalnega modela reliefa zaradi rekonstrukcije stanja klifa leta 1984. Na podlagi primerjave izdelanega digitalnega modela višin z bolj ali manj recentnimi predstavitevami površja je lahko določil hitrost odmika klifa v preučevanem časovnem intervalu.

Podoben metodološki pristop je bil uporabljen tudi v nekaterih prostorskih raziskavah v Sloveniji. Pri preučevanju Triglavskega ledenika se je ekipa fotogrametrov spoprijela z velikim strokovnim izzivom, kako iz arhivskih fotografij, s stalnih stojišč posnetih v rednih časovnih presledkih v več desetih letih s panoramskim fotoaparatom Horizont, v posameznih časovnih obdobjih rekonstruirati obseg, površino in prostornino ledenika. Cilj projekta je bila izdelava ploskovnega modela površine ledenika v različnih časovnih obdobjih in izračun razlike prostornine ledu med njimi (Triglav, Kosmatin Fras in Gvozdanovič 2000).

Tretja tovrstna raziskava je bila usmerjena v določanje značilnosti gozdnih sestojev (Kobler 2007). Temejlila je na podatkih lidarskega DMR. Avtor je s pomočjo primerjave različno obdelanih lidarskih posnetkov izdelal normalizirani digitalni model krošenj – nDMK, pri čemer je uporabil naslednjo formulo:

$$nDMK = DMP - DMR,$$

kjer je DMR digitalni model reliefa (nadmorske višine golih tal, torej reliefa brez rastlinstva, kar je enako zadnjemu odboju laserskega žarka), in DMP digitalni model površja s prisotno rastlinsko odejo (mrežo sestavljajo nadmorske višine vrhov dreves, kar je enako prvemu odboju laserskega žarka).

Poleg primerjalnih metod so uporabne tudi posebne geomorfometrične analize DMR, s katerimi se sledi reliefnim posebnostim, značilnim za kotanjast relief. Digitalni model reliefa lahko razdelimo v razrede z uporabo geomorfometričnih parametrov, kot so naklon, ukrivljenost in topografska odprtost (izmerjeni na različnih razdaljah). Za natančnejšo klasifikacijo geomorfoloških oblik uporabimo dodatne parametre, kot je na primer akumulacija vodnega toka za določanje reliefnih oblik, povezanih s fluvialnimi procesi (Anders, Seijmonsbergen in Bouten 2009). Segmentacijo DMR na reliefne oblike, iz katerih nato izločimo kotanjaste, vbočene oblike, lahko naredimo tudi na podlagi izračuna povprečne ukrivljenosti DMR, ki jo potem z metodo segmentacije porečja razdelimo v niz prvin reliefnih oblik. Gre za prvine, ki se značilno izoblikujejo okrog ukrivljenih depresij in jih zato lahko poenotimo z vbočenimi, kotanjastimi oblikami (Romstad in Etzelmüller 2009).



## 6. OMEJITEV PREUČEVANIH OBMOČIJ

Glede na predhodne geografske študije odlagališč (Šebenik 1994) so bili v Sloveniji neurejenemu odlaganju odpadkov najbolj izpostavljeni alpske in panonske ravnine, dinarska podolja in ravniki, panonska gričevja ter sredozemska flišna brda in kraške planote. To so pokrajinski tipi, ki so od nekdaj gosteje poseljeni in prepreženi z različnimi proizvodno-predelovalnimi gospodarskimi dejavnostmi, katerih posledica je bila nastanek velike količine raznovrstnih odpadkov.

Določitev vzorčnih območij temelji na neslučajnostnem vzorčenju. »... *Enote izberemo v vzorec po subjektivni presoji ali po morebitni predhodni analizi in se omejimo na tiste, ki naj bi bile reprezentativne za populacijo. Takšno izbiro enot v vzorec imenujemo izbira tipičnih enot. Ker izberemo enote v tem primeru namerno, da bi kar se da dobro predstavile populacijo, imenujemo tako opazovanje namerni vzorec...*« (Košmelj in Rován 1997, 37). Raziskava je omejena na dve po subjektivni presoji izbrani vzorčni območji (slika 11). Obe sta tipični z vidika večletnega nastajanja odlagališč odpadkov v naravnih in antropogenih reliefnih kotanjah:

- preučevano območje 1 (Dinarske planote) je kraško območje, ki vključuje Logaško polje in Logaški ravniki,
- preučevano območje 2 (Alpske ravnine) je nekraško območje, ki vključuje prodno ravnino Ljubljanskega polja.

Gre torej za dva ravninska pokrajinska tipa (Dinarske planote in Alpske ravnine (Perko 2008)), za katera so značilne različne reliefne kotalje. V izbranem kraškem pokrajinskem tipu so bile degradaciji izpostavljene predvsem vrtače, na nekraških prodnih ravninah pa so odpadke odlagali predvsem v opuščene in nesaniране gramoznice.

Izbrana ravninska pokrajinska tipa spadata med tradicionalno gosteje poseljene pokrajinske tipe. Na obeh vzorčnih območjih so delovali številni proizvodni obrati; mnogi so še vedno dejavni. Zaradi neurejenega ravnanja in gospodarjenja z odpadki so nevarne industrijske odpadke (iz galvan, obratov lesne in kemične industrije ...) odlagali tudi na odlagališča komunalnih odpadkov ter v naravne oziroma umetne kotalje.

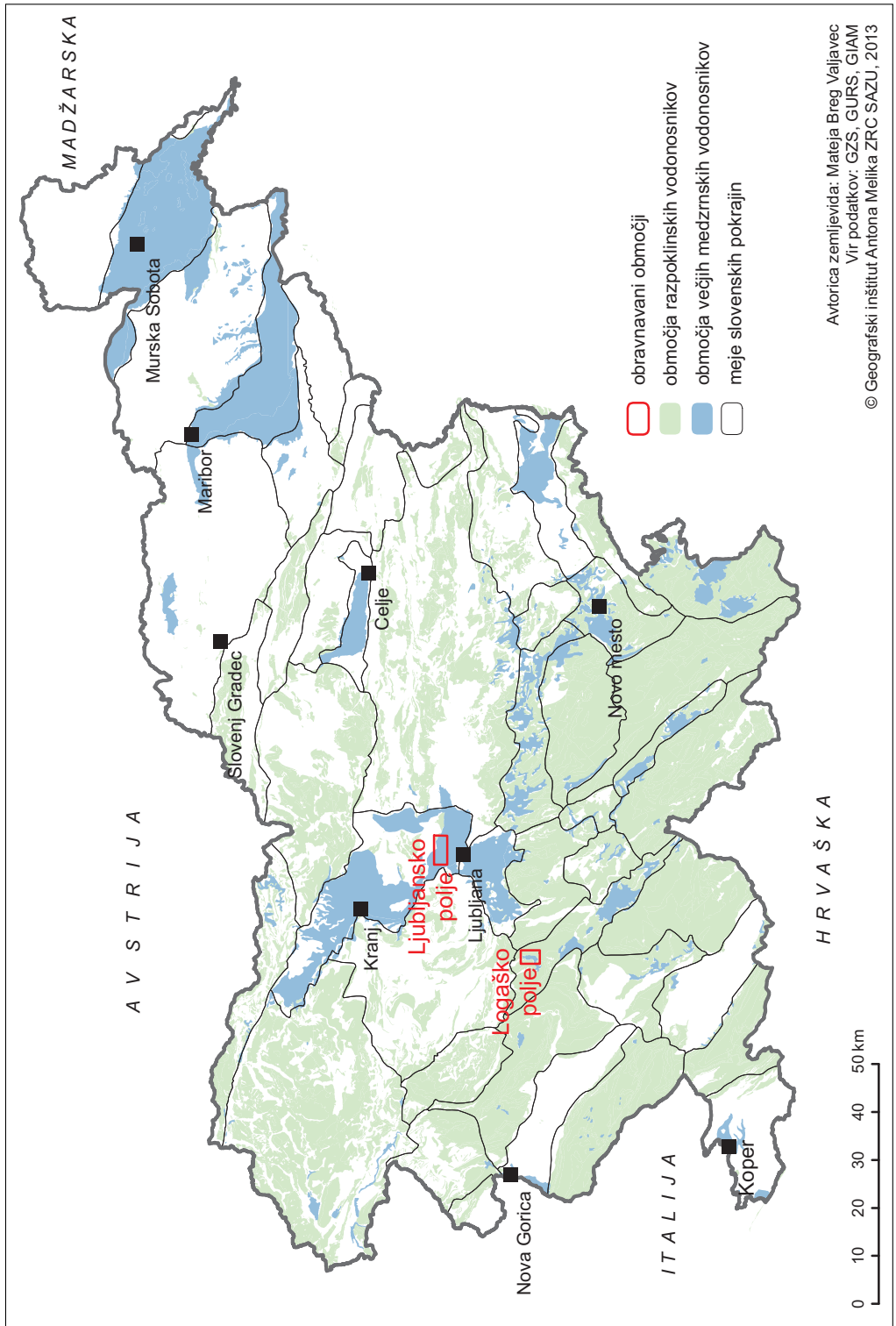
Logaško polje je primer dolgotrajnih antropogenih posegov v kraško morfologijo, kjer je bila v zadnjih desetletjih najizrazitejša prav degradacija vrtač. Na podlagi historičnogeografske analize zračnih posnetkov (Breg 2007) iz različnih obdobij (med letoma 1944 in 2000) je bilo ugotovljeno, da je na najbolj izpostavljenih delih logaškega krasa okrog 77 % vrtač popolnoma izginilo oziroma so dandanes pozidane ali delno pozidane. To se je zgodilo predvsem zaradi težnje po zapolnitvi kotalj, ki so bile ovi- ra antropogenim dejavnostim (kmetijstvo, poselitev, promet in podobno). Glede na predhodne študije (Smrekar s sodelavci 2005) je bil na aktivnih divjih odlagališčih ugotovljen prevladujoč delež (70 %) gradbenih odpadkov, medtem ko se delež komunalnih in nevarnih odpadkov zaradi urejenega odvoza zmanjšuje. Zaradi tega obstaja realna nevarnost, da se bo nadaljevalo zasipavanje vrtač z odpadnim gradbenim materialom, ki bo nastajal vzporedno s priseljevanjem ljudi ter interesom po novih in obnovljenih stanovanjih v intenzivno razvijajočih se naseljih v bližini avtoceste.

### 6.1 KRAŠKA POKRAJINA LOGAŠKEGA POLJA IN LOGAŠKEGA RAVNIKA

Logatec je staro furmansko mesto s tradicijo kmetijstva in gozdarstva. Razvoj naselja temelji na ugodni prometni legi, ki se je skozi celotno zgodovino odražala v različnih vrstah prometa (furbanstvo, železnica, avtocesta) ter lokalnih naravnih virih (gozd, rodovitna prst). Število prebivalcev Logatca je po 2. svetovni vojni naraščalo zaradi priseljevanja, pa tudi zaradi izgradnje tovarn in vzpostavitve obratov družbenega kmetijstva. Bližina Ljubljane ter dobra dostopnost do avtoceste in železnice so v zadnjih

*Slika 11: Lega preučevanih območij glede na hidrogeološko zgradbo Slovenije in slovenske pokrajine.*

► str. 36



dvajsetih letih privabile val novih priseljencev, predvsem mladih družin. V zadnjih letih se je razmerje med domačini in priseljenci že prevesilo v prid drugih. Še na začetku devetdesetih let so bile med takratnimi slovenskimi občinami velike razlike v deležu prebivalcev, ki so bili vključeni v organiziran odvoz komunalnih odpadkov. V tedanji občini Logatec je bilo v organiziran odvoz odpadkov vključenih 74 % občanov, v tedanjih ljubljanskih občinah pa je bilo povprečje kar 95 % (Šebenik 1994). Gospodinjstva, ki niso bila vključena v javni odvoz odpadkov, so imela manjša skupna ali individualna odlagališča.

Večji del Logaškega kraškega polja leži v dolomitu, apnenec Logaškega ravnika pa predstavlja od 10 do 15 metrov višjo živoskalno teraso (Mihevc 1979). Severni in zahodni del kraškega polja sestavljajo zgornjetriasni plastoviti dolomiti, katerih plasti so debele od 0,5 do 1 metra. Na njegovem skrajnem severnem robu se pojavljajo permski skladi kremenovega peščenjaka in glinastega skrilavca. V jugovzhodnem in vzhodnem delu Logaškega polja so spodnjekredni in cenomanijski so nekaj centimetrov debeli skladi sivega do temno sivega ploščastega apnenca z vložki zrnatega bituminoznega dolomita. Stik med zgornjetriasnim dolomitom in spodnjekrednim apnencem poteka ob logaškem dolomu v vzhodnem delu polja. Na njegovem dnu so na nadmorski višini med 470 in 480 metrov povprečno od 3 do 4 metre debeli kvartarni nanosi rek in potokov (Pleničar in Buser 1970). Del Logaškega polja pri Gorenjem Logatcu je razširjena fluvialna dolina, nastala ob sotočju Reke in Črnega potoka, ki se proti jugu nadaljuje v fosilno slepo dolino (Mihevc 1985). Potoka Reka in Črni potok, ki izvirata v hribovitem svetu zahodno nad Logaškim poljem, se v Gorenjem Logatcu združita v Logaščico, ki po 3 kilometrih površinskega toka ponika na vzhodnem robu kraškega polja, v Dolenjem Logatcu. V zadnjih nekaj sto metrih površinskega toka, kjer se konča nariv dolomita na apnenec, je Logaščica vrezala do 30 metrov globok kanjon. Logaščica ponika v ponorih Jačke, nato se v podzemlju združi z vodami, ki pritekajo s Planinskega polja in se ponovno pojavi na površju v kraških izvirih Ljubljanice zahodno od Retovja pri Vrhniku. Logaščica je izrazito hudourniški vodotok, saj je njeno zaledje v slabo prepustni dolomitni podlagi, zato večina vode odteče po površju (Nagode 2002). Ker je zmogljivost požiralnikov Jačke omejena na 15 do 20 m<sup>3</sup>/s, prihaja do poplav. Voda lahko naraste s 410 m nadmorske višine pri ponoru do višine 474 metrov. Takšne izdatne poplave so sicer redke in povprečno nastajajo vsakih 10 let (Mihevc 1985). Na Logaškem polju je 20 km<sup>2</sup> poplavnega sveta (Šušteršič 1994).

### 6.1.1 VRTAČA – PREVLADUJOČA KRAŠKA OBLIKA

Vrtača je značilna konkavna reliefna oblika v zakraseli kraški pokrajini. Najpogosteje so cilindrične, stožčaste, skledaste ali ponvaste oblike vrtač z obsegom do nekaj sto metrov in globino do več deset metrov (Gams 2003; Ford in Williams 2007). V mednarodni krasoslovni literaturi se za vrtačo pogosto uporablja izraz **dolina**, ki izhaja iz vsakdanjega slovenskega izraza za kraško kotanjo (Gams 1994). V ameriški strokovni literaturi je za vrtačo uveljavljen izraz **sinkhole** (Gams 1973, 29).

Glede na prevladujoč krasotvorni process, ki je posamezno vrtačo izoblikoval, in glede na tip »gostujoče« kamnine (trde sprijete karbonatne kamnine – apnenec, dolomit, konglomerat; naplavine oziroma nesprijeti sedimenti – glina, ilovica, pesek; nekarbonatne kamnine) lahko vrtače razčlenimo v genetske tipe. V svetovni krasoslovni literaturi je bilo predstavljenih več različic genetske klasifikacije vrtač (Beck 2003; Sauro 2003; Waltham, Bell in Culshaw 2005; Ford in Williams 2007; Gautierrez, Guerrero in Lucha 2008). Vse klasifikacije razlikujejo dve glavni skupini vrtač, to je (1) vrtače, ki nastajajo s površinskimi procesi, med katerimi sta najpomembnejša raztapljanje in površinsko zniževanje reliefa, ter (2) vrtače, ki nastajajo s podzemnimi procesi zaradi zakrasevanja pod površjem (Gautierrez, Guerrero in Lucha 2008). Glavni genetski tipi vrtač so korozijske vrtače, udorne vrtače, sufozijske vrtače, udorne sufozijske vrtače in brezstropne jame.

**Korozijske vrtače** (angleško *solution dolines*) so najpogosteje skledasto oblikovane kotanje, ki nastanejo s površinskim raztapljanjem trdih karbonatnih kamnin (slika 12). Glavni dejavnik raztapljanja in odstranjevanja kamnine je površinska voda, ki skozi razpoke v karbonatnih kamninah prenika v kraško podzemlje. Najpomembnejša kemijska reakcija poteka med različnimi apnenci (CaCO<sub>3</sub>), vodo



MATEJA BREG VALJAVEC

*Slika 12: Korozijske skledasto oblikovane vrtače so ugodne za kmetijstvo, saj je njihovo dno pokrito z ilovnatimi sedimenti in rodovitno prstjo, zato je večina med njimi tako imenovanih delanih vrtač.*



MATEJA BREG VALJAVEC

*Slika 13: Ena zadnjih povsem ohranjenih vrtač na Pustem polju, kot se imenuje osrednji del Logaškega polja.*





Slika 14: Novo nastajajoči grezi oziroma sufozijske vrtače na Logaškem polju so ovira za strojno obdelavo kmetijskih zemljišč.

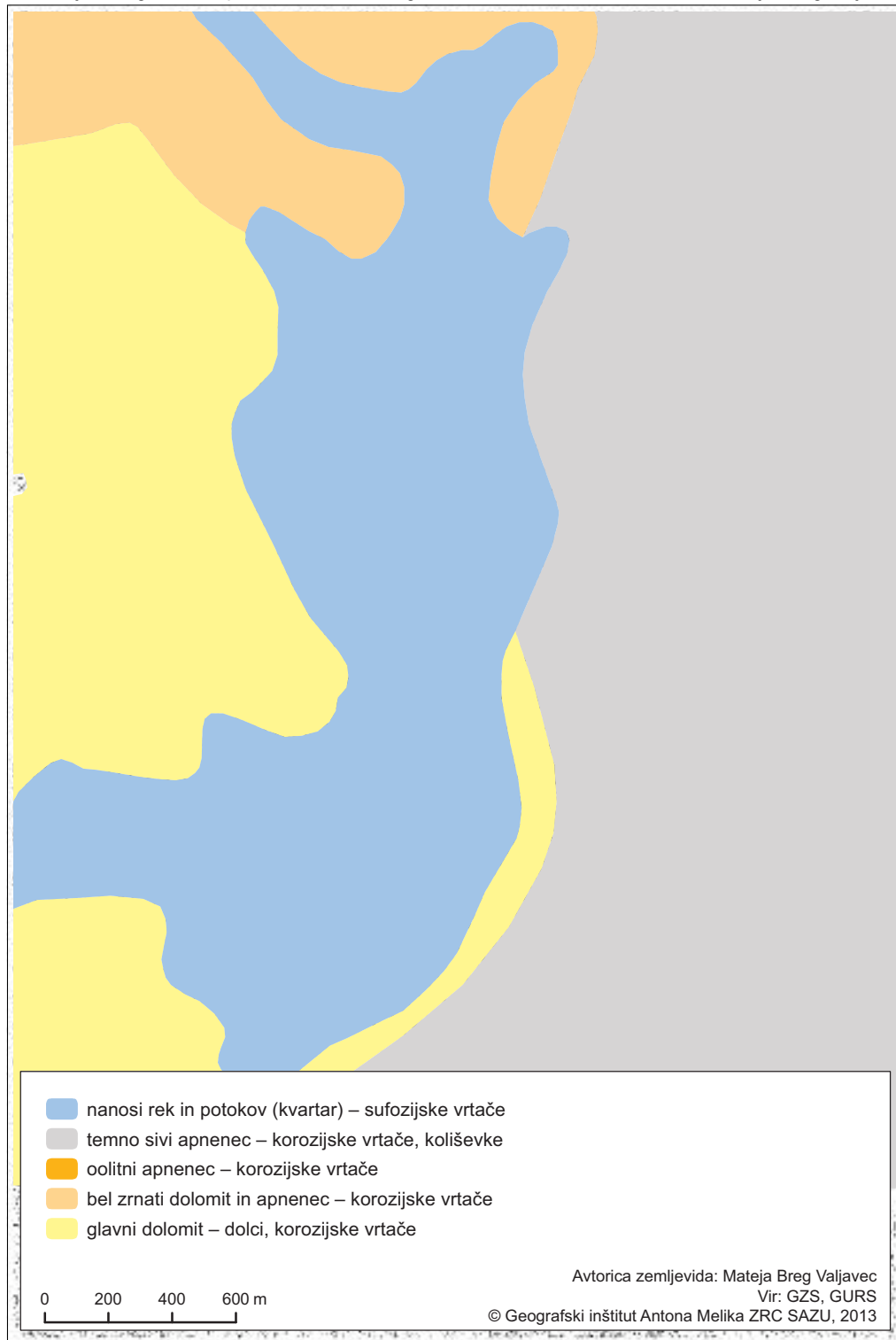
(H<sub>2</sub>O) in ogljikovim dioksidom (CO<sub>2</sub>). Reakcija je revrezibilna, njeno ravnotežje pa se spreminja s spreminjanjem temperature in parcialnega tlaka CO<sub>2</sub>. Pri korozijskih vrtačah je bila večina kamninske mase v osrednjem, najglobljem delu vrtače skozi glavne razpoke odstranjena v podzemlje (Kranjc 2002; Gams 2003; Ford in Williams 2007). Dna korozijskih vrtač so prekrita z ilovnatimi ali glinenimi sedimenti.

**Udorne vrtače** oziroma **udornice** ali **koliševke** (angleško *collapse dolines*) nastanejo v trdih karbonatnih kamninah zaradi podora jamskega stropa spodaj ležeče jamske votline.

V aluvialnih nanosih kraških polj so v ustreznih podnebnih in litoloških razmerah ugodni pogoji za nastanek **aluvialnih vrtač** (angleško *alluvial dolines*), kot jih je, glede na navzočnost aluvija kot »gostujoče« kamnine, poimenoval Gams (2003). Ker nastajajo s sufozijo, jih nekateri avtorji (na primer Ford in Williams 2007) imenujejo tudi **sufozijske vrtače** (angleško *suffusion dolines*), medtem ko se zanje v geološki krasoslovni terminologiji uporablja tudi izraz »krovne vrtače«, kar je dobesedni prevod angleškega izaraza *cover dolines* (Sauro 2003; Gautierrez, Guerrero in Lucha 2008; Beck 2012). V slovenskem krasoslovju je najbolj udomačen izraza sufozijska vrtača (Gams 1973, 30; slika 13), zato smo ga uporabili tudi v raziskavi. Sufozijske vrtače nastanejo z odnašanjem (sufozija, grezanje) nesprijete kamnine (pesek, glina, ilovica) skozi razpoke v pod njo ležeči trdi karbonatni kamnini (apnenec, dolomit) (Sauro 2003; Gautierrez, Guerrero in Lucha 2008). So podolgovate ali okrogle oblike in so lahko do 10 m globoke.

**Udorne sufozijske vrtače** (angleško *cover collapse (dropout) dolines*) se od sufozijskih razlikujejo po hitrosti nastanka, saj nastanejo s hitrim podorom jamskega stropa, prekritega z debelo plastjo nesprijetega sedimenta (Ford in Williams 2007). Nastanejo ob katastrofalnih pojavih (na primer potres, podzemna poplava) in imajo pogosto strma, klifna pobočja. Zaradi zasipavanja s sedimentom se sčasoma preoblikujejo v stožčaste ali skledaste vrtače, zato jih težko razlikujemo od sufozijskih (Gautierrez, Guerrero in Lucha 2008).

Slika 15: Geološka zgradba in njen vpliv na razporeditev genetskih tipov vrtač. ► str. 40



Poleg naštetih tipov vrtač je treba omeniti še **brezstropne jame** (Mihevc 2001; Stepišnik s sodelavci 2009 (angleško *roofless caves/unroofed caves/intersection dolines* (Sauro 2003)). Pri njihovem nastanku imajo pomembno vlogo speleogenetski procesi, ki oblikujejo jamske votline in rove ter součinkujejo s površinskimi procesi zniževanja reliefa, kakršna sta preperevanje in odnašanje preperine.

Prostorska razporeditev različnih genetskih tipov vrtač na logaškem krasu (Logaško polje in Logaški ravniki) je odvisna od geoloških in hidrogeoloških značilnosti »gostujoče« kamnine. Na sliki 15 sta predstavljena geološka zgradba ter njej ustrezen in prevladujoč genetski tip vrtače. Na območjih s trdo karbonatno podlago s prevlado apnenca so najpogostejše korozijske in udorne vrtače, medtem ko se v dolomitu poleg korozijskih vrtač pojavljajo tudi dolci (angleško *dell*), značilne kotanjaste reliefne oblike z uravnanim dnom (Komac 2006a in 2006b). Udornic v dolomitni podlagi praviloma ni. V aluvialnem delu kraškega polja prevladujejo kvartarne ilovnato-peščene naplavine, v katerih ob pogostih in izdatnih padavinah (v Logatcu je letna višina padavin 1500 mm) potekajo sufozijski procesi in nastajajo sufozijske vrtače, imenovane tudi grezi (slika 14). Korozijske vrtače v apnencu so večje in globlje kot v dolomitu in tudi večje od sufozijskih vrtač, ki so najmanjše. Gastota vrtač je najmanjša na dolomitu, največja na apnencu in povprečna v naplavinskem delu kraškega polja. Na obliko, velikost in gostoto vrtač poleg litoloških značilnosti »gostujoče« kamnine vplivajo tudi morfometrične značilnosti reliefa (Ravbar in Zorn 2003). Na zahodni strani Pustega polja (Lipje) sta na podobni nadmorski višini kot polje dolomitni terasi, ki pa sta brez vrtač in prekriti z debelo rdečo ilovico brez prodnatega zasipa.

#### 6.1.2 ANTROPOGENI POSEGI V VRTAČE

Odlagališča odpadkov v vrtačah so v le nekaj desetletjih postala nespregledljiva antropogena prva na kraške pokrajine, značilna predvsem za obrobja večjih naselij. Po Šebeniku (1994) so odlagališča v vrtačah so najpogostejše splošna, na njih je 84 % od vseh odpadkov v vrtačah. Več je tudi občasnih



MATEJA BREG VALJAVEC

Slika 16: Tradicionalno obdelana vrtača, prilagojena strojni obdelavi, tudi oranju.

in zasebnih odlagališč. Dve tretjini vrtač z odpadki je v gozdu ali poraslih z grmovjem. Slaba šestina jih je travnatih, še nezaraščenih ali na opuščenih pašnikih (Šebenik 1994). Za nedovoljeno odlaganje odpadkov so »primerne« prav lokacije s svojskimi lastnostmi, kot so ugodna dostopnost, prikritost (depresijske oblike), zaraščenost, odmaknjenost ter nefunkcionalnost in zapuščenost območja.

Eden od pomembnejših posegov v površje Logaškega polja, ki je pomenil tudi začetek degradacije sufozijskih in korozijskih vrtač, je bilo poljedelstvo. Korozijske vrtače imajo bolj uravnano dno, prekrito z ilovico, kar zagotavlja dobre razmere za poljedelsko in vrtačarsko rabo. Sufozijske vrtače se razprostirajo po celotnem kraškem polju, ker nastajajo v kvartarnih ilovnato-peščenih naplavinah. Največ sufozijskih vrtač je na Pustem polju, Lipju in Brojskem polju. V teh predelih prevladuje kmetijska raba zemljišč. Obsežne agromelioracije so začeli izvajati leta 1986, najprej ob Logaščici, v letih 1987 in 1988 pa so z njimi nadaljevali na Pustem polju. Za izboljšanje rodovitnosti kmetijskih zemljišč so sufozijske vrtače med travniki in njivami izravnali z okoliškim površjem. Večino so povsem ali vsaj delno zasuli. Ker so sufozijske vrtače majhne in stožčaste, niso primerne za njive, zato so si jih že od nekaj prizadevali odstraniti.

Po drugi svetovni vojni, ko se je začela povečevati količina komunalnih odpadkov iz gospodinjstev, so jih na Logaškem v okviru organiziranega zbiranja in odvoza masovno odlagali v posebej temu namenjene vrtače na robu naselja. Med izvajanjem agromelioracij so odpadke v vrtačah prekrili z dolomitno jalovino iz bližnjih kamnolomov, ilovnatim izkopnim materialom in v najboljšem primeru z okoliško prstjo. Obenem s prekrivanjem vrtač so prekrili tudi odlagališča različnih industrijskih, tudi okolju nevarnih odpadkov, med drugim tudi KLI-jevo industrijsko odlagališče ob železniškem nadvozu (Bricelj 1988).

Nastanek prvih odlagališč nekomunalnih odpadkov je povezan z izgradnjo Južne železnice oziroma železniškim prometom. V vrtače v bližini železnice so odlagali izgorke iz parnih lokomotiv.

V obdobju industrializacije in urbanizacije so kraške depresije zapolnjevali z različnimi odpadki, med katerimi je bilo največ komunalnih, precej je bilo tudi industrijskih in kmetijskih, medtem ko so odpadni gradbeni material uporabljali le za prekrivanje.

Po 2. svetovni vojni je število prebivalcev v Logatcu hitro naraščalo. Ob popisu leta 2002 je v njem živel 7600 ljudi, po podatkih Statističnega urada Republike Slovenije za leto 2012 pa že 9218. Zlasti po letu 1970 je to rast spremljala gradnja blokov in individualnih hiš. Po drugi svetovni vojni so začeli v Logatcu graditi tudi industrijska poslopja. Ob železniki progi v Dolenjem Logatcu so leta 1953 odprli tovarno lesnega stavbnega pohištva KLI (Kombinat lesne industrije). Sestavo njenih odpadkov, s katerimi so zasipavali vrtače, ni mogoče ugotoviti. Poleg industrijskih odpadkov, ki so jih odlagali večinoma v bližnje vrtače na dobro prepustnih spodnjekrednih skladih, so bili med njimi zagotovo tudi galvanski mulji, ki so nastali kot odpadni produkt tri desetletja delovanja galvane (Bricelj 1988). Leta 1971 sta na Pustem polju začeli obratovati tovarni Valkarton in Konfekcija, v njuni bližini pa še majhna razdelilna postaja. Prav tako na Pustem polju, ob cesti proti Rovtam, so zgradili večji kmetijski obrat (Pagon 2008). V raziskavi odlagališč odpadkov na Logaškem polju je Bricelj že leta 1988 ugotavljal, da je bil velik del industrijskih odlagališč lesnega podjetja KLI že takrat zasut. »... Sestave odpadkov, s katerimi so zasipali vrtače, danes ni mogoče ugotoviti (lahko le ugibamo na podlagi analiz vode v izvirih Ljubljani ...« (Bricelj 1988). Njegova raziskava je temeljila na terenskem popisu aktualnega stanja in se ni spuščala v preteklost.

Zaradi tega smo s sodobnimi geoinformacijskimi metodami poizkusili dobiti dodatne informacije o odlagališčih, saj že Bricelj napeljuje na veliko možnost v preteklosti odloženih nevarnih odpadkov (Bricelj 1988): »... Ob upoštevanju dejstva, da je v okviru Kombinata lesne industrije tri desetletja (do leta 1982) delovala tudi galvana, lahko sklepamo o znatnih količinah galvanskih muljev, ki so jih poleg drugih industrijskih odpadkov odlagali v vrtače. Poleg tega so ostanke iz lakirnic, trikloretilen ipd. odlagali prav tako nemoteno, kar v bližnje vrtače ...«. Ko Bricelj v raziskavi omenja, da je omenjena tovarna še leta 1988 uporabljala pet lokacij v neposredni bližini, se vsekakor poraja vprašanje o količinah odpadkov, njihovi dejanski sestavi in potencialni nevarnosti po letu 1988. Glede na nekatere predhodne študije (na primer Smrekar s sodelavci 2005), je bil na aktivnih divjih odlagališčih ugotovljen prevladujoč delež





*Slika 17: Korozijska travniška vrtača ob železniški progi, ki so jo leta 2006 začeli zasipavati z gradbenimi odpadki.*



*Slika 18: Vrtača s prejšnje fotografije je bila leta 2013 že povsem izravnana z okolico.*

gradbenih odpadkov (70 %), medtem ko sta deleža komunalnih in nevarnih odpadkov zaradi urejene- ga odvoza manjša.

Ob upoštevanju tega dejstva obstaja nevarnost, da se bo v prihodnje nadaljevalo zasipavanje vrtač z odpadnim gradbenim materialom (slika 17), ki bo nastajal vzporedno s priseljevanjem prebivalcev ter interesom po izgradnji novih ter obnovi obstoječih stanovanj. Slika 17 je bila posneta leta 2006, slika 18 pa leta 2013. Na njej prikazana travniška vrtača je že popolnoma izravnana z okolico.

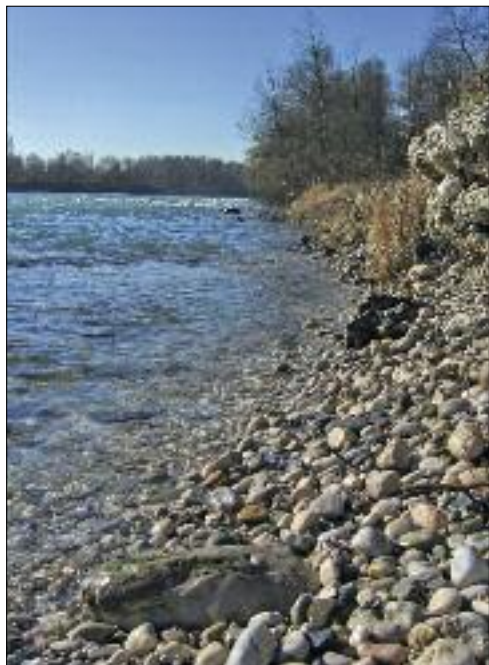
Intenzivnost antropogenih procesov v večjih središčih na krasu (Logatec, Sežana, Kozina) in ob prometnih koridorjih (Podgrajsko podolje, Sežansko-Divaški Kras, Logaško polje) nedvomno narašča. Izpostaviti je treba predvsem urbano-agrarna kraška območja z gostejšo poselitvijo (Logaško polje), kjer je zaznati močnejšo antropogeno preobrazbo, naravne značilnosti za nastanek odlagališč odpadkov so še vedno »ugodne«, zato je še vedno aktualno zasipavanje vrtač z gradbenimi odpadki.

## 6.2 PRODNA RAVNINA LJUBLJANSKEGA POLJA

Ljubljansko polje je tektonska udorina, zgrajena iz permokarbonskih glinastih skrilavcev s plastmi kremenovega peščenjaka (Bračič Železnik s sodelavci 2005). Udorino že milijone let zasipavajo vodotoki, med katerimi je najpomembnejša reka Sava, ki prodno gradivo prinaša z območja svojega zgornjega toka. Savo na obeh straneh spremlja več teras, najvišja pleistocenska in nižje holocenske terase. Ob izjemno visokem vodostaju se je v preteklosti rečna struga Save lahko prestavila tudi za 100 m. Predstavljanje struge ni bilo enako po vsej dolžini rečnega toka; najobsežnejše je bilo ob gameljskem in tomačevskem zavoju. Na Ljubljanskem polju je spreminjanju struge izpostavljenih okrog 430 ha zemljišč. Prav ta prodna ravnica, ki so jo ljudje poimenovali Prod, pri Tomačevem tudi Pesek in pri Obrijah Roje, je območje naše raziskave. S prestavljanjem rečne struge je Sava povzročala škodo, saj je poplavljalna zemljišča, trgala bregove in onemogočala prehode prek reke. Prvi regulacijski posegi na Savi so bili izvedeni že sredi 19. stoletja, obsežnejši pa ob koncu tega stoletja. Leta 1895 so začeli z deli v Tacnu in jih leta 1908 končali. Z njimi so rečno strugo izravnali, jo premaknili proti jugu in ji povečali strmec (Radinja 1951). Zvečanje strmca je povzročilo močnejšo erozijo, uničevanje talnih pragov in s tem poglobljanje struge, pri čemer se je nižala tudi raven podtalnice. Drag in zahteven projekt je zahteval redno vzdrževanje, ki pa je s propadom Avstro-Ogrske zamrlo. Leta 1935 je Sava dosegla približno enake razmere in enak strmec kot pred regulacijo ter s tem izničila večino človekovega truda (Radinja 1951).

Količino podtalnice v prodnih sedimentih Ljubljanskega polja ocenjujejo na 100 milijonov m<sup>3</sup> (Rismal 1993). Njen normalni pretok presega 3 m<sup>3</sup>/s, visok pa naj bi presegal 4 m<sup>3</sup>/s. Z vidika samočistilnih sposobnosti podtalnice je velikega pomena debelina vodonosne prodno-konglomeratne plasti. Debelina te plasti narašča od zahodnega proti osrednjemu delu, kjer preseže 70 m, nato pa se postopoma zmanjšuje. Gladina podtalnice je najgloblje v zahodnem delu Ljubljanskega polja, kjer je od 20 do 30 m globoko, v srednjem delu polja je okrog 20 m globoko in v vzhodnem manj kot 15 m. Na levem bregu Save, kjer je tudi vodarna Jarški prod, je podtalnica v globini od 4 do 8 ob visokem vodnem stanju in od 8 do 11 m ob nizkem vodnem stanju (Analiza ... 1995, povzeto po Smrekar s sodelavci 2005). Smer odtekanja podtalnice je vzporedna toku reke Save. Zaradi oblikovanja depresijskih lijakov okrog aktivnih vodnjakov se oblikuje območje spremenljive velikosti, kjer je tok podtalnice koncentrično usmerjen proti območju črpanja. V takih primerih se tok vode na odtočni strani vodarne preusmeri nazaj proti vodarni. Ob povečanju načrpane količine vode se to območje ustrezno razširi v vse smeri. Ob visokih vodah se lahko njen tok zaradi povezanosti rečne struge s podtalnico ob povečanju pretoka podtalnice in močnem toku Save preusmerja ob Savi navzgor, proti vodarni Jarški prod. Takrat postanejo odlagališča odpadkov južno od vodarne potencialno nevarna in ogrožajo vodni vir.

Obnavljanje podtalnice poteka razmeroma hitro, kar je posledica dobre prepustnosti krovne plasti in peščeno prodnega dela, ki vodonosnik povezuje s Savo. Tako lahko savska voda, ki prispeva 50 % pretoka podtalnice, intenzivno prenika skozi nezablateno dno rečne struge, znatna pa je tudi infiltracija padavin, ki prispevajo 42 % njenega pretoka (Brečko 1998). Območje neposredne infiltracije padavin



Slika 19: Prodniki in konglomerat v strugi Save.

meri približno 80 km<sup>2</sup>, povprečna letna infiltracija pa se ocenjuje na 740 mm (po nekaterih meritvah celo 1000 mm), kar je približno polovica povprečnih padavin v Ljubljani. Preostalih 8 % pretoka podtalnice prispevajo dotoki podzemne vode z obrobja, ponikli potoki in ponikajoča voda iz vodovodnega omrežja, ki se izgubi na poti do porabnikov (Smrekar s sodelavci 2006). Zaradi prodnatih nanosov reke Save je bilo širše območje Ljubljanskega polja že od nekdaj zanimivo za pridobivanje gramoza.

### 6.2.1 ANTROPOGENE KOTANJE PRODNIH RAVNIN

Antropogeno spreminjanje reliefa na preučevanem območju Ljubljanskega polja se je skozi zgodovino izražalo tudi z izkopavanjem proda oziroma gramoza. Nastali so številni manjši kopi, pogosto v obliki zemljiške parcele, kakor tudi velike gramoznice v lasti gradbenih gigantov, na primer SCT. Gramoznice so antropogena reliefna oblika, ki je v prostorskem razvoju navadno zelo dinamična. V obdobju izkopavanja je njihova oblika vbočena, njihova površina pa se je z izkopavanjem gramoza sčasoma povečevala. Nekatere gramoznice so se ohranile do danes; preraslo jih je rastlinstvo ali zalila podtalnica. Za razliko od ohranjenih vbočenih kotanj opuščenih gramoznic zasute gramoznice v reliefu ne izstopajo, saj so jih z zasutjem izravnali z okoliškim površjem.

Številne strokovne raziskave in objave dokazujejo, da problematika gramoznic v Sloveniji nikakor ni nova. Večinoma so jih obravnavali strokovnjaki tehničnih ved, zlasti v povezavi z možnostmi pridobivanja gramoza. Z okoljevarstvenega vidika in vidika nedovoljenega odlaganja odpadkov so jih obravnavali Vogrin in Sovinc (1994), Jakič (1995), Kušar (2000), Hanjže (2001) in Konjar (2001), prvi pa se je te tematiko celostno lotil Kosmač (1988). Po ocenah je v Sloveniji nekaj tisoč opuščenih gramoznic s površinami med 10 in 10.000 m<sup>2</sup>. Samo na Ljubljanskem polju je bilo evidentiranih več sto gramoznic s skupno površino več kot 200 ha, kar je več kot 3 % njegove površine. Po prenehanju pridobivanja gramoza je bilo nekaj gramoznic prepuščenih naravnemu preoblikovanju, precej več pa odlaganju najrazličnejših odpadkov (Radinja 1951).

Po pričevanjih starejših krajanov Črnuč, Ježe, Nadgorice in Kleč so na Ljubljanskem polju gramoz kopali že na začetku dvajsetega stoletja. Med drugo svetovno vojno so za gradnjo nemške obvozne železnice in Zasavske ceste kopali material pod savsko ježo v bližini Ježe in Nadgorice. Od petdesetih let dalje pa so gramoz kopali tudi južneje ob savski strugi (Krušec 2010). Na Jarškemrodu so prebivalci okoliških vasi do šestdesetih let imeli pravico, da na aktivnih prodiščih kopljejo prod in ga prodajajo kot gradbeni material. Še posebej je bila cenjena mivka, ko jo v manjših količinah (po nekaj kubičnih metrov) še vedno na hitro (in seveda na črno) izkopljejo izpod kakšne ježe. Na južnem bregu Save naj bi do obsežnejšega izkoriščanja prod prišlo potem, ko so nehali uporabljati starejše gramoznice bližje mesta, predvsem tiste za Bežigradom (Šušteršič 2012). To so bila predvsem izkopavanja za trg, kajti na južnem bregu so ljudje zgradili bivališča narodu in imeli gradbeni material za domačo rabo kar doma. Na prodnatem severnem bregu z izjemo Broda, Ježice in Šentjakoba, ki so že dolgo vključeni v Ljubljano, naselij ni. Večinoma se stiskajo na obrobju Taborškega gričevja in Soteškega hriba. Ker ju sestavljajo kot gradbeni material neuporabni permokarbonski skrilavi glinavci, so krajanji tudi za domačo uporabo morali kopati prod. To so bili majhni izkopi »šodra«, kot po domače pravijo gramozu, po nekaj »trug«, kot pravijo vozom za odvažanje prod, nakopanih pod manjšimi, še ne uravnoteženimi ježami. Ker je bilo ozemlje vedno nekoliko poraščeeno (travišča se obnovijo nekaj let zatem, ko se reka umakne, vrbe pa za razrast tudi ne potrebujejo več kot dobrih 5 let), takih praviloma majhnih in razpršenih izkopov iz letalskih posnetkov ni lahko zaznati.

Odvažanju prod so bile namenjene ceste in poti, ki so zaznavne na starejših aeroposnetkih. Velikopotezno izkopavanje prod na severnem bregu Save se je pričelo šele po intervencijskih regulacijah spomladi 1966, ko je izkoriščanje prod na južnem bregu ne glede na siceršnje prepovedi postalo tudi fizično nemogoče (Šušteršič 2012). Svoje je dodala tudi možnost odvažanja izkopanega materiala s tovornjaki. Dokler so namreč prod odvažali v »trugah« s konjsko vprego, je bilo komercialno izkoriščanje na severnem bregu reke negospodarno. Gradnja elektram na Savi in posledično kopičenje prod za jezovi sta parametre sedimentacije, erozije in premeščanja struge bistveno spremenila. Svoje je prispevala tudi skoraj sočasna prepoved izkoriščanja prod v aktivnih prodiščih, ki jih je regulacija tako rekoč izločila. Posredno je na razvoj dogodkov vplivala nikoli do konca izpeljana arondacija zemljišč konec šestdesetih let, ko so na celotnem Jarškemrodu načrtovali velike komercialne nasade topolov. Z lesom so nameravali zalagati bližnje papirnice. Ko so načrti propadli, so na »nikogaršnje ozemlje« vdrli legalni posli (Šušteršič 2012).

Aktivna odlagališča v opuščeni gramoznicah in glinokopih so najpogostejša na prodnih in vodonosnih ravninah, na robu mestnih naselij, kjer so tudi največja. V njih se običajno odlaga gradbeni material, saj kar »kličejo« po tem, da se jih zapolni. Po končanem izkoriščanju največkrat vanje navozijo odpadni gradbeni material in druge odpadke prav gradbena podjetja in posamezniki, ki so iz njih izkopavali gramoz in pesek ter ga uporabljali. Ker se ti odpadki nenadzorovano odlagajo v nepredstavljenih količinah, so lahko njihovi učinki na podtalnico izjemni. Gradbeni material namreč sestavljajo tudi nevarni odpadki (azbestne salonitne plošče, ostanki barv in lakov ...), poleg tega pa je zaradi odstranjenega gradiva podtalnica bližje površju (Smrekar s sodelavci 2005).

Na osredotočenje divjih odlagališč v opuščeni gramoznicah in ostalih površinskih kopih kažejo tudi raziskave o divjih odlagališčih odpadkov na Ljubljanskem polju (Kušar 2000; Smrekar s sodelavci 2006). Na Jarškemrodu je kar 75 % oziroma 30.000 m<sup>3</sup> popisanih odpadkov odloženih v gramoznicah, tudi na zavarovanih območjih vodnih virov. Prodišča južno od Črnuč in Ježice so preprežena z gramoznicami, še zlasti tista na levem bregu Save. Večje število gramoznic je tudi ob desnem bregu reke, vzhodno od Roj, in ob njenem levem bregu, zahodno od Spodnjih Gameljn. Gre za ogromne tujke v prostoru, njihova površina je med 25 in 65.000 m<sup>2</sup>, prostornina pa od 50 do 130.000 m<sup>3</sup>. Njihova globina je tudi 6 m, izjemoma celo več kot 10 m (Smrekar s sodelavci 2006). Podtalnico še posebej ogrožajo izcedne vode iz divjih odlagališč v gramoznicah. Na številnih odlagališčih smo naleteli na nevarne odpadke, katerih izcedki bi lahko vplivali na kakovost pitne vode (Breg in Urbanc 2005).





MIHA PAVŠEK

Slika 20: Opuščena gramoznica, prepuščena zaraščanju.



MIHA PAVŠEK

Slika 21: V opuščeno gramoznico se postopoma odlagajo različni odpadki, med katerimi je največ gradbenih.

Septembra 1996 je bil izveden terenski pregled območja Mestne občine Ljubljana. Popis je izvajalo domžalsko podjetje Oikos d. o. o. (Kobal, Spruk in Špendl 1999). Izveden je bil s sistematičnim kartiranjem in beleženjem podatkov o vseh vidnih odlagališčih odpadkov. Za odlagališče je bil opredeljen kup odpadkov s prostornino vsaj kubični meter. Na pregledanem območju je Oikos odkril 457 odlagališč s skupno površino 70.448 m<sup>2</sup>, na njih pa je bilo odloženih 32.781 m<sup>3</sup> materiala. Rezultati geografskega popisa odlagališč odpadkov na vodovarstvenih območjih Mestne občine Ljubljana (Smrekar s sodelavci 2006) so plod natančnega pregleda vseh na površju vidnih divjih odlagališč odpadkov. Na podlagi omenjene študije so bili prirejani rezultati za 16,9 km<sup>2</sup> prostrano ožje vodovarstveno območje črpališč Kleče in Jarški prod, kjer je bilo popisanih 586 vidnih odlagališč, ki se razlikujejo glede na stopnjo aktivnosti. To pomeni, da je na z vidika ohranjanja vodnega vira Ljubljane izredno ranljivem območju skoraj 35 odlagališč odpadkov na kvadratni kilometer. Na vodovarstvenih območjih Ljubljanskega polja smo popisali skupno 87 gramoznic, med katerimi jih je bilo le 15 gramoznic popolnoma praznih (brez odpadkov), preostale pa so bile v različnih fazah zasipavanja (Smrekar s sodelavci 2006).

### 6.3 INTERES PREBIVALCEV PREUČEVANIH OBMOČIJ PO RAZREŠEVANJU PROBLEMATIKE DIVJIH ODLAGALIŠČ ODPADKOV

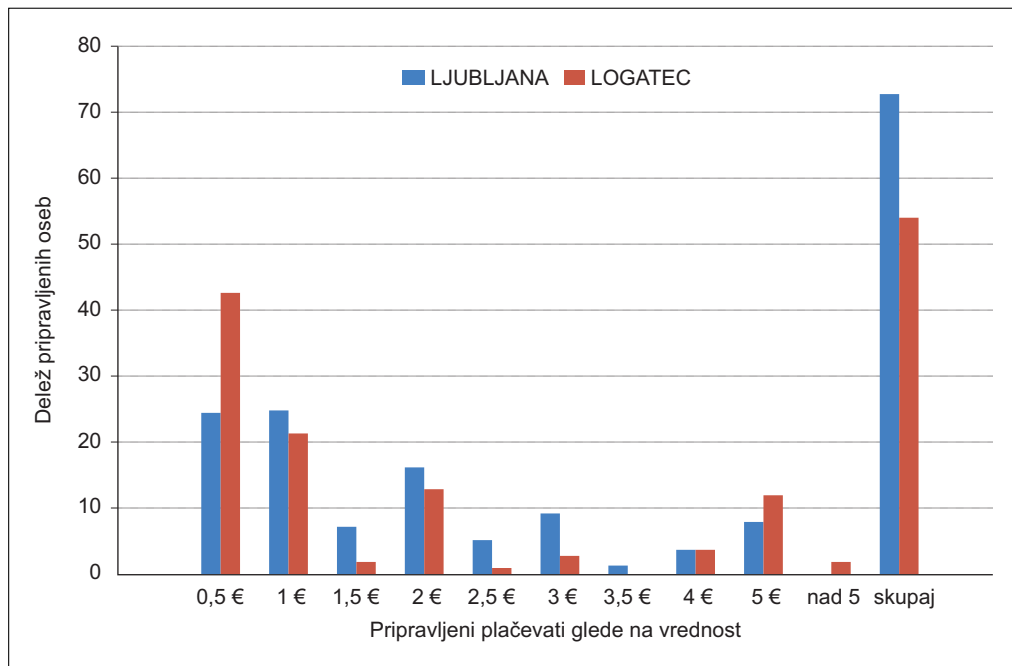
Leta 2007 smo na vzorcu 200 prebivalcev Logatca in 1000 prebivalcev Ljubljane opravili raziskavo o ravnanju z odpadki, ki je vsebovala tudi vprašanja o divjih odlagališčih odpadkov in nekdanjih odlagališčih. Poleg odgovorov na vprašanja so anketiranci na odtisnjenih barvnih letalskih posnetkih označili vsa nekdanja odlagališča odpadkov, ki so se jih spomnili in jih znali locirati. Rezultati na podlagi anketiranja se zelo razlikujejo tako med posamezniki kot tudi med Logatcem in Ljubljano. Nekateri Logatčani ne poznajo nobene z odpadki zasute vrtače, spet drugi pa po več zasutih vrtač. Poznavanje tematike je odvisno predvsem od njihove starosti, časa njihovega bivanja v Logatcu, njihove povezanosti z domačim okoljem in interesa za varovanje okolja. Skladno s tem smo v anketni vzorec vključili starejše prebivalce in upokoјence, ki so praviloma domačini in v večji meri pripravljeni sodelovati v anketi. 40 % anketirancev je prebivalo v Logatcu več kot 30 let, 18 % pa od 20 do 30 let. V Ljubljani so bili rezultati zelo slabi, zato jih ne moremo uporabiti kot kontrolni sloj, kar smo lahko storili za Logaško polje. Zaznavanje divjih odlagališč v okolici doma je odvisno predvsem od načina življenja, od okoliščine, ali anketiranec sploh zahaja v naravo oziroma na območja na robu naselja, kjer so divja odlagališča najpogostejša. Ljubljancani, še toliko bolj pa prebivalci v središču Ljubljane, so od zelenih površin na robu mesta, kjer so odlagališča pogostejša, bolj oddaljeni in jih v primerjavi s prebivalci Logatca, ki je majhno mesto, tudi slabše poznajo.

Z analizo zbranih odgovorov na zastavljena vprašanja smo želeli ugotoviti, ali je tematika nekdanjih in še vedno aktivnih divjih odlagališč družbeno aktualna, ali jo dojemajo kot problematično, in če jo, kako bi jo morali reševati in kdo bi moral skrbeti za to. V Logatcu so divja odlagališča še vedno zelo pogost pojav. Prevladuje zasipavanje vrtač z gradbenimi odpadki, kar gre pripisati neorganiziranemu ravnanju z gradbenimi odpadki na državni ravni, nekaznovanju ilegalnega odlaganja odpadkov in interesu domačinov, da se zasuje ter odstrani nepotrebne kotanje. 28 % vprašanih je bilo prepričanih, da divjih odlagališč v Logatcu sploh ni, 29 % jih o njihovi navzočnosti ni bilo prepričanih, 48 % pa jih je bilo o tem bolj ali manj prepričanih. Zanimivo je, da skoraj polovica vprašanih divjih odlagališč v svoji okolici ne opazi ali pa za njih ne ve, preostala polovica pa jih zaznava oziroma ve za njih. Rezultati so premo sorazmerni s številom označenih lokacij nekdanjih odlagališč odpadkov na letalskem posnetku zdajšnje pokrajine.

V Ljubljani dobra polovica anketirancev divjih odlagališč ne zaznava in se jim ta problematika zdi dokaj nepomembna. Na splošno ocenjujejo, da se je število nedovoljenih odlagališč v zadnjih desetih letih zmanjšalo.

Polovica vprašanih Logatčanov meni, da so divja odlagališča v Logatcu srednje velik problem, za slabo četrtino (21 %) so velik problem, enak delež pa je takšnih, ki so izjavili, da problematika ni poseb-





Slika 22: Pripravljenost Ljubljančanov in Logatčanov za plačevanje prispevka pri razreševanju problematike divjih odlagališč odpadkov.

no pereča. Le 14 % vprašanih je prepričanih, da se je število divjih odlagališč v Logatcu in njegovi okolici v zadnjih desetih letih povečalo, 12 % jih meni, da se ni spremenilo, velika večina, kar 63 % pa jih je izjavilo, da se je njihovo število zmanjšalo. Nedvomno se je število novonastalih divjih odlagališč, zapolnjenih s komunalnimi in industrijskimi odpadki zaradi organiziranega ločenega zbiranja in odvoza tovrstnih odpadkov zelo zmanjšalo, na drugi strani pa lahko znova izpostavimo nove, nastajajoče deponije gradbenega materiala in ponekod tudi kosovnih odpadkov.

Precej Logatčanov (42 % vprašanih) še zmeraj ni povsem seznanjenih s tem, da je krajevno središče za ravnanje z odpadki dolžno zastonj sprejeti odpadke, zato odpadke še vedno odpeljejo in odvržejo na divje odlagališče v vrtači (8 %), kot je bila to v navadi pred letom 1979, ko je začelo obratovati logaško komunalno odlagališče Ostri vrh. V Logatcu, kot tudi v mnogih drugih kraških naseljih, je več manjših zasutih vrtač v zasebni lasti, ki so bile v času organiziranega javnega odvažanja odpadkov krajevne deponije komunalnih in drugih odpadkov. Slovenska zakonodaja lastnika parcele obvezuje, da odstrani odpadke in območje divjega odlaganja odpadkov sanira. Sanacija tovrstnih starih okoljskih bremen je za posameznika nedvomno pretežno finančno breme in bi jo morala prevzeti lokalna skupnost ali država.

84 % anketiranih Ljubljančanov se je strinjalo, da je divja odlagališča treba nujno odstraniti, podobno delež pa jih je menilo, da je za njihovo sanacijo dolžna poskrbeti lokalna skupnost ali država. 72 % anketiranih jih je bilo pri razreševanju problematike divjih odlagališč pripravljenih tudi aktivno sodelovati in v zaenkrat hipotetični sklad za ta namen prispevati pol evra mesečno (slika 22). Prebivalci Logatca so se za odstranitev divjih odlagališč odpadkov zavzemali predvsem na načelni ravni (97 % vprašanih), pri čemer je 72 % anketirancev menilo, da je za to dolžna poskrbeti lokalna skupnost ali država, 17 % jih o tem ni bilo povsem prepričanih, le 8 % pa se jih s tem ni strinjalo. V Logatcu je bilo v poseben sklad za sanacijo divjih odlagališč odpadkov po pol evra mesečno pripravljenih prispevati 54 %

anketirancev, še najraje, če bi se ta znesek dodajal k mesečnemu računu za porabo električne energije (slika 22). Nekateri bi bili pripravljeni plačevati tudi več, čeprav večina manj kot dva evra.

Če vzamemo, da je v občini Logatec registriranih 2460 gospodinjstev in bi jih v sanacijski sklad polovica plačevala po pol evra mesečno, bi torej vsak mesec zbrali 615 evrov, letno pa 7380 evrov. Potrebovali bi več desetletij, da bi zbrali dovolj sredstev za sanacijo z odpadki zasutih vrtač. Nedvomno pa jih je v očeh domačinov veliko že bilo »saniranih« z agromelioracijami, ko so odpadke prekrili z debelo plastjo zemljine in površje izravnali do stopnje, ki omogoča strojno obdelavo.

## 7 IZHODIŠČNO STANJE KOTANJ V NEKDANJI POKRAJINI

Analizo nekdanje pokrajine smo zasnovali na **trirazsežnostni analizi – 3R analizi** (angleško *three-dimensional / 3D analysis*). Temelji na analizi 3R modelov nekdanjega površja, izdelanih iz arhivskih aeroposnetkov. Digitalne modele površja smo izdelali z metodami in tehnikami digitalne fotogrametrije. Na 3R modelih smo kotanje določili na podlagi oblike in vbočenosti, rezultate pa preverili z »dvorazsežnostno analizo« istih aeroposnetkov, to je vizualno fotointerpretacijo arhivskih aeroposnetkov. V nadaljevanju so predstavljeni temeljne metodološke zahteve za izdelavo fotogrametričnega 3R modela ter postopek izdelave 3R modela nekdanje pokrajine Logaškega polja v letu 1972 in Ljubljanskega polja v letu 1964.

### 7.1 STEREOIZVREDNOTENJE AEROPOSNETKOV

**Digitalni model pokrajine** je trirazsežnostna predstavitev Zemljinega površja v določenem trenutku, ki ga lahko izdelamo iz prekrivajočih se letalskih posnetkov. Preoblikovanje aeroposnetkov v trirazsežnostne modele vključuje več procesov, pogosto povezanih z **digitalno fotogrametrijo**. 3R podatke lahko z različnimi koraki predobdelave samodejno pridobimo iz pravilno orientiranih posnetkov. Digitalna fotogrametrija omogoča natančno pridobitev tridimenzionalnih informacij iz slik. Pri tem morajo biti poznane vse lastnosti, povezane s kamero, posnetkom in posnetim površjem, kar vključuje tudi informacije o notranji in zunanji orientaciji senzorja.

V konvencionalnih fotogrametričnih postopkih se za 3R prostorsko rekonstrukcijo upodobljenih objektov uporabljajo **stereofotografije**, področje, ki se ukvarja s pridobivanjem metričnih podatkov iz stereoposnetkov, pa je **stereometrija**. Pri stereometriji določamo relativne in absolutne višine površja na podlagi razlike med stereoposnetkoma istega dela površja, posnetima z dveh različnih zornih kotov, ki se zadostno prekrivata (običajno od 60 do 80 %), optični osi pa ne smeta biti preveč konvergentni (Triglav, Kosmatin Fras in Gvozdanovič 2000), da se vzpostavi **stereoučinek** oziroma **stereoefekt**. Višinske razlike površja pridobivamo z odpravljanjem horizontalne paralakse (Triglav Čekada 2004). Pri tem se uporabljajo digitalne metode ujemanja slik, kot na primer **avtokorelacija**, delujoče na principu samodejnega iskanja in merjenja lokacij skupnih točk Zemljinega površja, ki se pojavijo na obeh prekrivajočih se posnetkih. Končni rezultat je veliko število enakomerno porazdeljenih tridimenzionalnih točk. Metoda se imenuje **avtomatsko stereoizvrednotenje aeroposnetkov**.

**Prvine notranje orientacije** so ponavadi podane v **kalibracijskem poročilu** (angleško *calibration report*) kamere ali senzorja. Običajno jih poda proizvajalec fotoaparata ali drugega senzorja (digitalna kamera), ki izvede laboratorijsko kalibracijo. Čeprav so profesionalni fotoaparati za letalsko snemanje izdelani robustno, se sčasoma ti parametri spremenijo, zato je treba kalibracijo v določenih časovnih intervalih redno ponavljati, vsaj na tri leta (Kosmatin Fras 2004). Prvine notranje orientacije pri aeroposnetkih vključujejo **goriščno razdaljo** oziroma **goriščnico** (angleško *focal length*), **distorzijo leč** (angleško *lens distortion*), **koordinate robnih mark** (angleško *fiducial marks*) in drugo. Če kakšni podatki notranje orientacije manjkajo, kot se pogosto zgodi pri arhivskih aeroposnetkih, je možno uporabiti posebne metode aerotriangulacije, s katerimi dopolnimo manjkajoče podatke.

**Prvine zunanje orientacije** senzorskega modela opisujejo natančno lego in orientacijo posameznega posnetka v trenutku zajemanja. Lego se določi s pomočjo 3R koordinat ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ). Orientacija slike v trenutku zajema se nanaša na **rotacijo okrog treh osi**: omega ( $\omega$ ), fi ( $\phi$ ) in kapa ( $\kappa$ ). Če prvine zunanje orientacije niso poznane ali dosegljive, lahko z večino fotogrametričnih sistemov določimo natančno lego in orientacijo posameznega posnetka (angleško *bundle block adjustment*; Leica 2011).

Iz stereoposnetkov lahko rekonstruiramo le relativne dimenzije upodobljenih objektov. Za pridobitev absolutnih koordinat moramo poznati dovolj veliko število točk z znanimi prostorskimi koordinatami oslonilne ali kontrolne točke (angleško *ground control point*). Rezultate v lokalnem ali referenčnem prostorskem koordinatnem sistemu dobimo s postopki zunanje orientacije posnetkov (Triglav, Kosmatin Fras in Gvozdanovič 2000). Oslonilne točke so temelj za vzpostavitev pravih geometričnih razmerij

med koordinatnimi sistemi slike, kamere in površja. V Logatcu so za oslonilne točke primerne stavbe, ki so se ohranile od leta 1972 do sodobnosti, prav tako nekatera križišča cest. Tridimenzionalne referenčne koordinate oslonilnih točk (x in y koordinati Gauss-Krügerjevega koordinatnega sistema) smo določili iz digitalnega ortofoto načrta (© GURS 2006). Tretjo (z) koordinato oslonilne točke nadmorsko višino smo določili iz DMV 5 (© GURS 2006).

Postopek, s katerim orientiramo več aerofotoposnetkov, ki se delno prekrivajo vzdolž pasu in med pasovi, ki jih aerofotografiramo, se imenuje **aerotriangulacija**. Za njeno izvedbo je treba izmeriti nekaj **oslonilnih točk** na terenu, njihovo število pa je bistveno manjše od števila oslonilnih točk, ki jih je treba izmeriti za orientacijo posameznih modelov (to je območje prekrivanja dveh aeroposnetkov; Kosmatin Fras 2004). Za natančnejšo aerotriangulacijo smo na prekrivajočih se območjih steroposnetkov določili **vezne točke** (angleško *tie points*). Vezna točka je točka brez znanih referenčnih koordinat, je pa vizualno razpoznavna na vseh prekrivajočih se posnetkih. Za zagotovitev natančnih rezultatov morajo biti vezne točke homogeno razporejene po celotnem preučevanem območju (Triglav, Kosmatin Fras in Gvozdanovič 2000). Pri tem se uporabijo različne metode digitalnega ujemanja prekrivajočih se slik (na primer primerjava sivin, vzorcev). Ko imamo določene oslonilne in vezne točke, lahko s aerotriangulacijo vzpostavimo pravilna in natančna geometrična razmerja med slikami v projektu, kamero in površjem. Aerotriangulacija je pri izdelavi fotogrametričnega modela višin bistvenega pomena, ker se z njo izračunajo vsi potrebni parametri, kot so notranja orientacija kamere, zunanja orientacija kamere in 3R koordinate veznih točk, pa tudi ostali dodatni parametri, ki določajo **senzorski model** (angleško *sensor model*). Manjkajoče prvine zunanje orientacije se izračunajo v projektu aerotriangulacije. Natančnost izračunanih parametrov zunanje orientacije je ocenjena v poročilu aerotriangulacije. Izdela se na podlagi ocene *á priori* natančnosti oslonilnih točk ter neodvisne primerjave med izračunanimi koordinatami in terensko izmerjenimi koordinatami na oslonilnih točkah. Kriteriji za posamezna dovoljena odstopanja (kotna odstopanja, odstopanja koordinat in podobno) so podani v tehničnih specifikacijah projekta aerotriangulacije (Kosmatin Fras 2004). Ko zaključimo z avtomatskim stereoizvrednotenjem, na preučevanem območju dobimo veliko število enakomerno porazdeljenih 3R točk. Točke v nadaljevanju **interpoliramo**, da izdelamo TIN mrežo ali rastrski DMP. Z naknadnimi obdelavami lahko DMP izboljšamo in izdelamo DMR, ki je osnova za številne GIS analize, kot so na primer analiza porečja, analiza osončenosti, geološka in geomorfološka klasifikacija reliefnih oblik.

Kot prostorski podatek je 3R model nekdanje pokrajine primeren za geomorfometrično analizo reliefa in omogoča kvalitativno ali kvantitativno primerjavo z reliefom zdajšnje pokrajine. Glavna prednost uporabe trirazsežnostnih modelov je, da lahko v določenem letu letalskega snemanja poleg lege ter razsežnosti vrtač in gramoznic določimo tudi njihovo globino.

## 7.2 TRIRAZSEŽNOSTNI MODELI PREUČEVANIH OBMOČIJ

Izhodiščno stanje vrtač na Logaškem polju smo določili na podlagi aeroposnetkov iz leta 1972, izhodiščno stanje gramoznic nekdanje pokrajine Ljubljanskega polja pa je zasnovano na arhivskih posnetkih iz petletnih obdobj, s poudarkom na letih 1959 in 1964, za kateri smo izdelali digitalne modele nekdanjega površja in izvedli 3R analizo površja. Analize nekdanje pokrajine so bistvene za določitev lokacije preučevanih objektov in izhodiščnega, ničelnega stanja. Na Logaškem polju smo izdelali 3R model površja za leto 1972, na Ljubljanskem polju pa kar dva 3R modela, in sicer za leti 1959 in 1964. Postopek avtomatskega stereoizvrednotenja aeroposnetkov podrobneje predstavljamo na primeru 3R modela Logaškega polja za leto 1972.

### 7.2.1 LOGAŠKO POLJE LETA 1972

Za preučevano območje Logaškega polja obstajajo arhivski aeroposnetki, posneti že med drugo svetovno vojno. Na razpolago smo imeli le tri zaporedne posnetke iz leta 1944 (© RACHMS, Združe-

no kraljestvo), ki pa žal ne pokrijejo celotnega preučevanega območja, zato smo manjkajoče podatke nadomestili z analizo mlajših posnetkov iz leta 1972 in izdelali **DMP1972** in **DMR1972** preučevanega območja, ki ga pokriva pet zaporednih stereoparov iz leta 1972. Za aerotriangulacijo posnetkov smo uporabili program *Erdas Imagine – Leica Photogrammetry Suite (LPS)*. Aerotriangulirani, orientirani posnetki so temelj za pridobivanje višin površja, za kar smo uporabili program *Erdas LPS Automatic Terrain Extraction* (© Leica 2008).

Pregled in izbor arhivskih stereoposnetkov smo opravili v Arhivu aeroposnetkov po predhodni prostorski analizi metapodatkov o preteklih zračnih snemanjih Slovenije (vektorski sloji pasov snemanja za vsako leto). Izdelava DMR1972 je bila izvedena za območje 5 zaporednih aeroposnetkov istega snemalnega pasu, katerih prekrivanje je nad 60-odstotno. Za izbrane posnetke smo uporabili podatke o notranji orientaciji iz ustreznega kalibracijskega poročila (1970) in izdelali senzorski model. V preglednici 3 so predstavljene bistvene tehnične značilnosti snemanja izbranih aeroposnetkov. Pred uporabo metod digitalne fotogrametrije je treba analogne arhivske aeroposnetke najprej digitalizirati, pri čemer moramo uporabiti enake parametre digitalizacije (ločljivost slike, osvetlitev, kontrast in drugo). Najkakovostnejše skenograme dobimo, če uporabimo fotogrametrični skener in sliko zajamemo neposredno iz fotografskega filma. Ker pri arhivskih aeroposnetkih filmi niso vselej ohranjeni (v primeru Slovenije jih hrani VGI in niso dostopni), lahko skeniramo tudi kontaktne kopije. Pomanjkljivost teh pa je, da so se med skladiščenjem in pri predhodni uporabi lahko že poškodovale. Zgodi se, da so območja, namenjena vojaški rabi tal, prebarvana s črno barvo, pogosto so na fotografijah tudi oznake in razni napisi.

*Preglednica 3: Tehnični podatki posebnega aerofoto snemanja (PAS), Vrhnika, 1972, povzeti iz snemalnega lista številka 9 (© GURS 1972).*

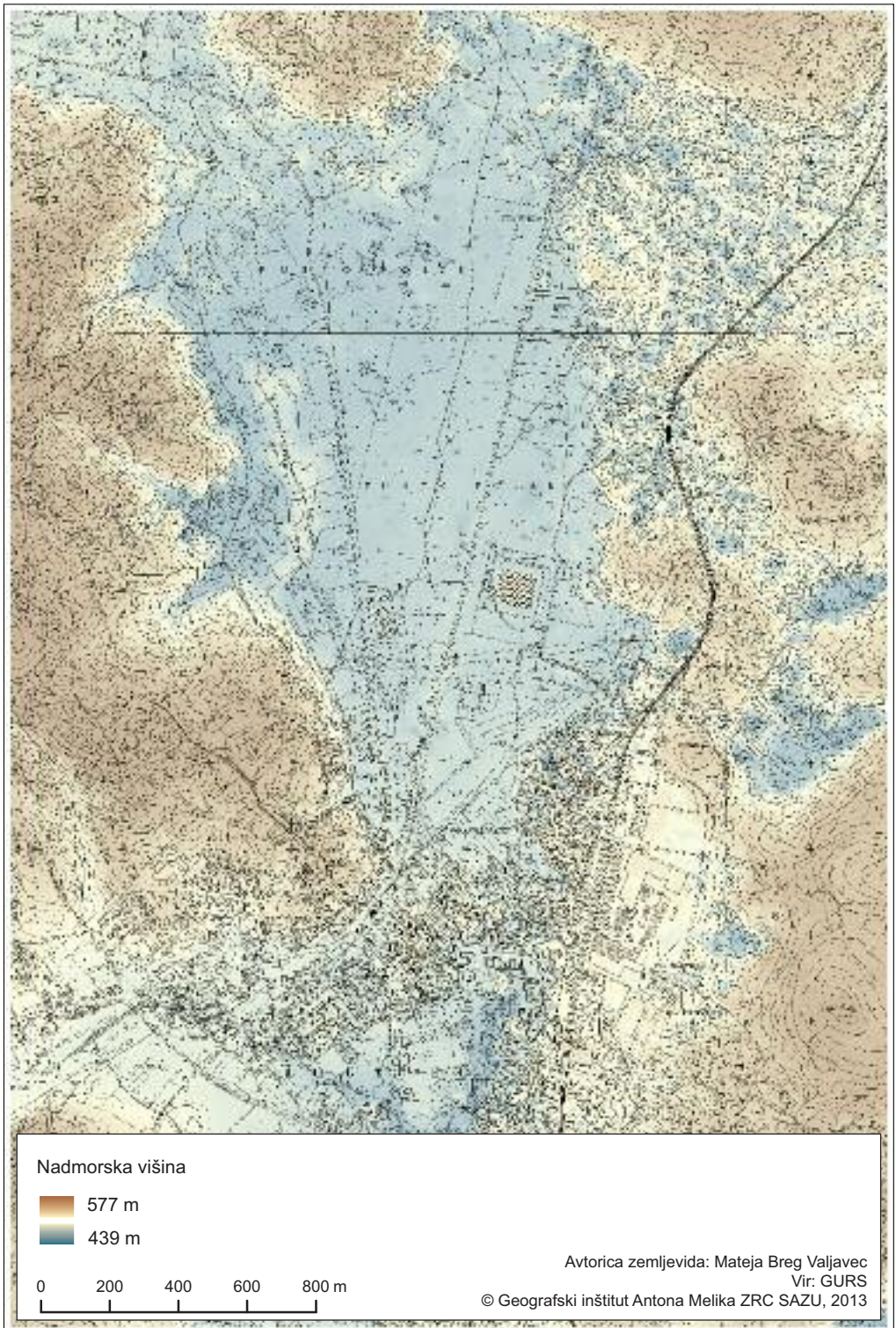
datum snemanja	3. april 1972
platforma	Morava L-200, YU-BB12
višina leta	2290 m
merilo posnetkov	1 : 15.000
instrument	Kamera WILD RC-8
format	230 × 230 mm
objektiv	90
goriščnica	152,7 mm
preklop	60 %

Digitalne aeroposnetke smo predhodno obdelali v programih za obdelavo slik (*PhotoShop*, *Illustrator*, *Erdas Imagine*) in jih vizualno v kar največji meri uskladili. Vsaka fotografija oziroma skenogram ima drugačno stopnjo osvetlitve ter različen kontrast med črno in belo barvo, kar je treba še dodatno uskladiti, saj poteka postopek stereoizvrednotenja aeroposnetkov in avtomatskega določanja višin na podlagi primerjave prekrivajočih se območij iz dveh zaporednih aeroposnetkov (stereopar). Vzpostavitev stereoefekta iz dveh prekrivajočih se fotografij zahteva določitev prvin notranje in zunanje orientacije. Za določitev notranje orientacije aeroposnetkov posebnega aerofoto snemanja Vrhnika 1972 smo uporabili kalibracijsko poročilo kamere WILD RC-8 iz leta 1970 in meritve vključili v senzorski model. Glavne spremenljivke notranje orientacije so merilo (1 : 15.000), kalibrirana goriščna razdalja (152,7 mm) ter povprečna višina leta (2290,5 m), izračunana iz merila in goriščnice.

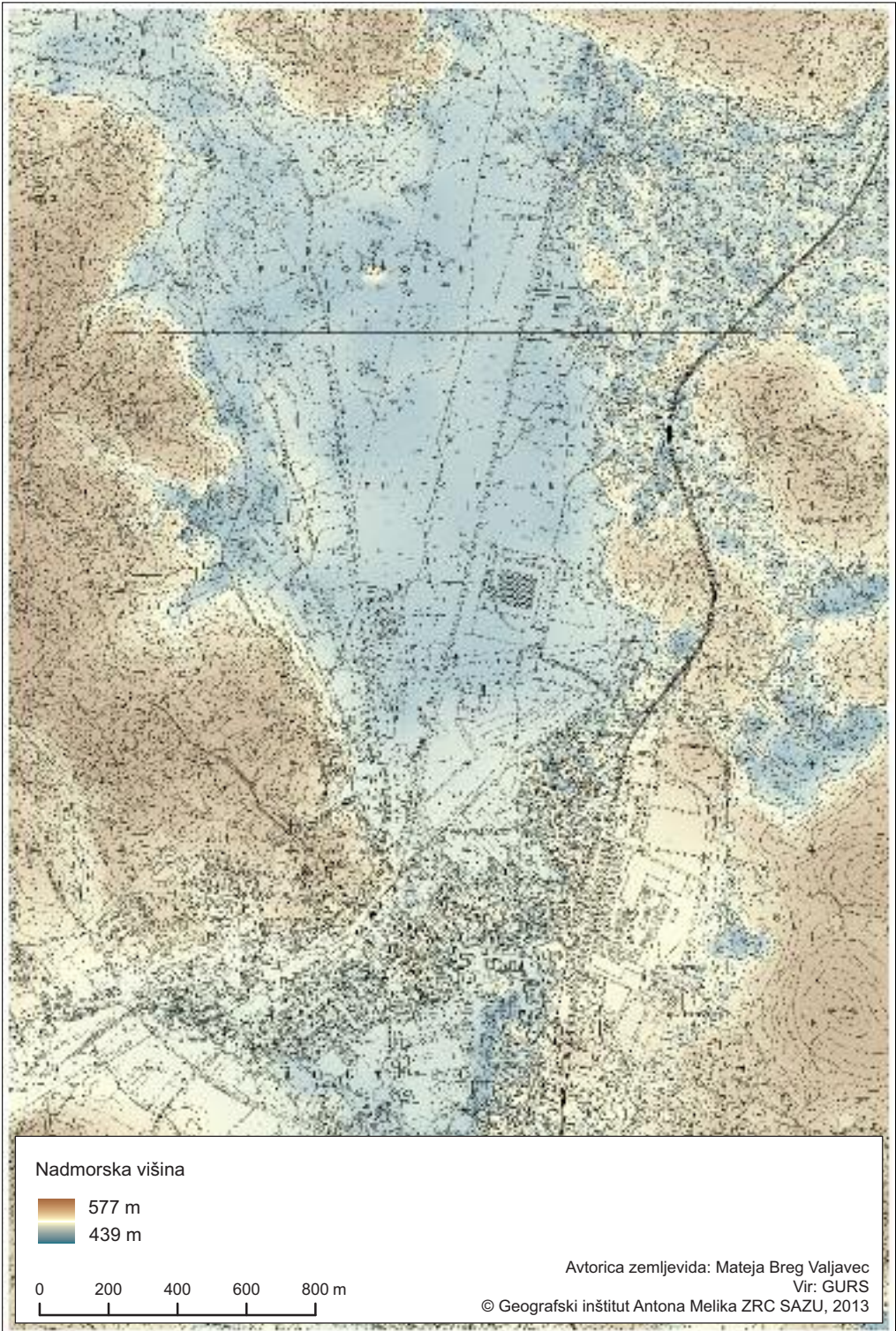
*Slika 23: Digitalni model površja za leto 1972 (DMP1972), narejen z avtomatskim stereoizvrednotenjem arhivskih aeroposnetkov. ► str. 54*

*Slika 24: Digitalni model reliefa na Logaškem polju z okolico, narejen na podlagi TTN5 iz sedemdesetih letih, imenovan DMTTN5. ► str. 55*









Informacije o zunanji orientaciji senzorskega modela opisujejo natančno lego in orientacijo posameznega posnetka v trenutku zajemanja. Za določitev oslonilnih točk so v Logatcu primerne stavbe, ki so se ohranile od leta 1972 do danes, prav tako so primerna nekatera križišča cest. Referenčne koordinate oslonilnih točk (x in y koordinati Gauss-Krügerjevega koordinatnega sistema) smo določili iz digitalnega ortofoto načrta (© GURS 2006), iz DMV 5 (© GURS 2006) pa smo določili višinsko (z) koordinato oslonilne točke oziroma nadmorsko višino.

Za izvedbo natančne aerotriangulacije smo določili še vezne točke na prekrivajočih se območjih stereoposnetkov. Pri tem se uporabijo različne metode digitalnega ujemanja (avtokorelacija) prekrivajočih se predelov zaporednih slik (na primer primerjava sivin, vzorcev). Zaradi številnih manjkajočih parametrov zunanje orientacije (na primer koordinate perspektivnega centra, podatkov o kotih) smo na podlagi čim natančnejših koordinat oslonilnih in izbranih veznih točk izvedli postopek samodejne kalibracije (*self-calibrating bundle block adjustment*) in pridobljene podatke vključili v postopek aerotriangulacije. Značilnosti površja na območju stereoposnetkov smo določili na podlagi izdelanega senzorskega stereomodela z avtomatskim tridimenzionalnim merjenjem slike. Iz točkovnega oblaka smo z metodo interpolacije najbližjega sosedu (angleško *nearest neighbour*) izdelali rastrski DMP1972 z ločljivostjo 3 m (slika 23). DMP1972 je trirazsežnostna predstavitev površja, ki vključuje tudi rastlinstvo, stavbe in druge antropogene sestavine na površju. Izdelali smo tudi DMR1972, kar smo storili tako, da smo na območjih gozda in stavb te lokalno odstranili iz DMP1972.

Z vidika določanja reprezentativnosti in uporabnosti DMR1972 smo na podlagi Temeljnega topografskega načrta v merilu 1 : 5000 (v nadaljevanju TTN5) za preučevano območje izdelali referenčni DMR nekdanjega površja. Plastnice in pomembne reliefne točke (točke dna dolin) smo digitalizirali ter nato z interpolacijo (*nearest neighbour*) izdelali DMR z ločljivostjo 3 m. **DMTN5** (slika 24), kot smo ga poimenovali, zaradi časovne nehomogenosti vhodnih podatkov časovno in metodološko ni homogen. Podatki o nadmorskih višinah so povzeti iz štirih listov TTN5, ki so bili narejeni v letih 1974, 1981, 1986 in 1987. Zaradi zastarelosti ta vir predstavlja nekdanjo pokrajino, časovno primerljivo s pokrajino na arhivskih posnetkih iz leta 1972.

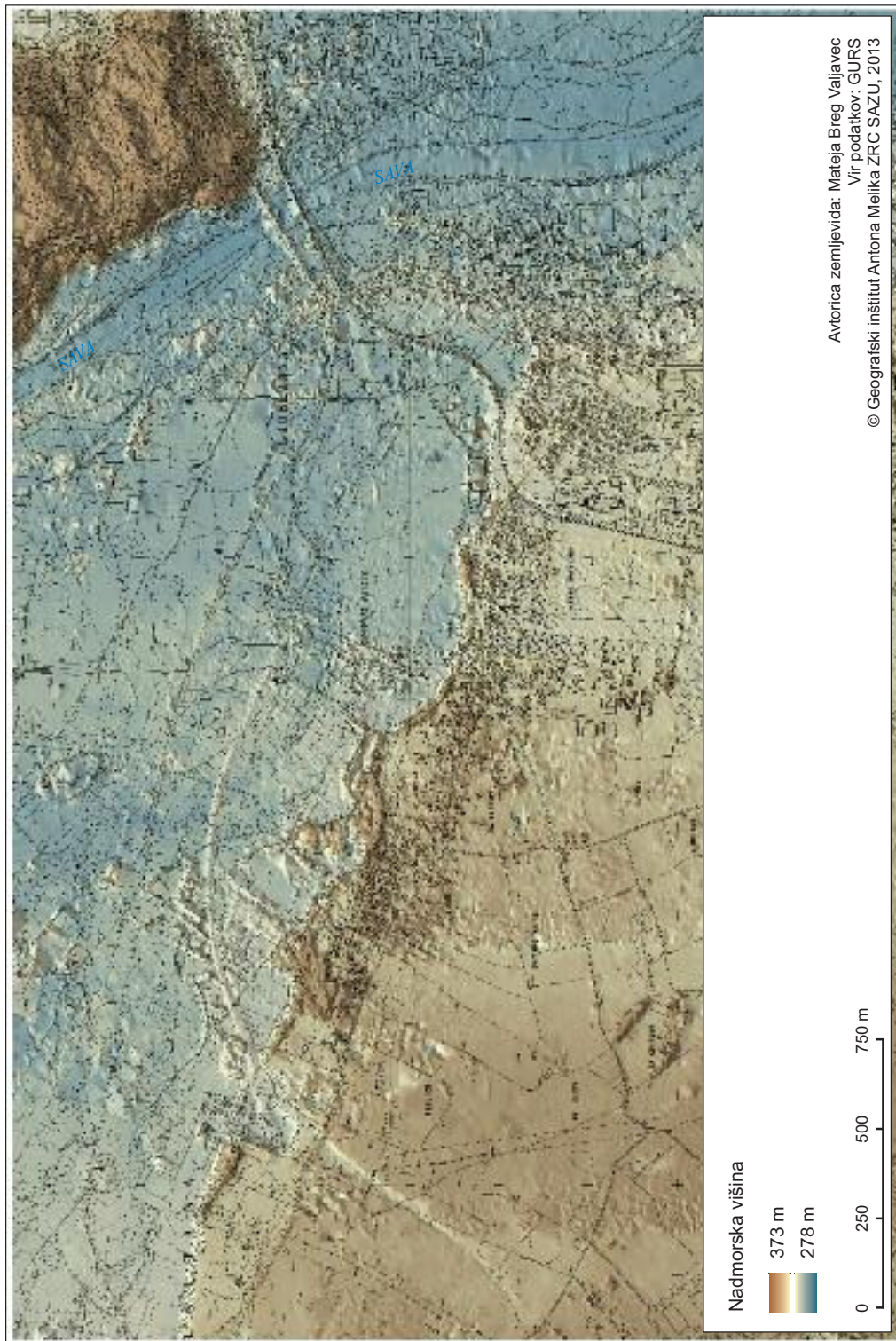
## 7.2.2 LJUBLJANSKO POLJE V LETIH 1959 IN 1964

Za preučevano območje na Ljubljanskem polju smo izdelali 3R model pokrajine na podlagi aerofotografij iz let 1959 in 1964, ki sta bili podlaga za določanje trirazsežnostnih dimenzij gramoznic iz tistega obdobja. Pregled in izbor posnetkov smo opravili v Arhivu aeroposnetkov. Pri določanju notranje orientacije smo se morali zadovoljiti z ocenjenimi vrednostmi na podlagi postopka samodejne kalibracije, saj sta kalibracijski poročili za kameri v obeh snemalnih letih izgubljeni. Skladno s tem je tudi kakovost 3R modelov slabša kot bi bila z vključitvijo natančnih kalibriranih vrednosti notranje orientacije. Podatek za kalibrirano goriščno razdaljo je običajno označen na robovih posameznega aeroposnetka, zato ga lahko uporabimo v postopku avtomatskega stereoizvrednotenja. Ker se filmi niso ohranili, smo skenogramne izdelali iz kontaktnih kopij. S tem je kakovost stereoobdelave zmanjšana.

Za izdelavo **DMP1959** smo uporabili aeroposnetke Posebnega aerofoto snemanja 1959 (PAS 1959 v merilu 1 : 10.000, GURS 1959). Podatka za kalibrirano goriščno razdaljo (209,67 mm) in povprečno višino leta (2.097 m) smo odčitali oziroma izračunali iz aeroposnetkov. Koordinate robnih mark smo odčitali neposredno iz kontaktnih kopij. Ob tem je treba opozoriti, da se izmerjene razdalje med posameznimi robnimi markami na zaporednih kontaktnih kopijah razlikujejo, zato je natančna določitev koordinat robnih mark otežena in kakovost DMP ponovno zmanjšana. Podoben postopek smo uporabili pri izdelavi **DMP1964** (slika 25) iz arhivskih aeroposnetkov za leto 1964 (PAS 1964, GURS 1964), kjer je vrednost kalibrirane goriščne razdalje (209,92 mm) prav tako odčitana iz kontaktnih kopij. Kljub vsemu smo oba 3R modela v kombinaciji z vizualno aerofotointerpretacijo izhodiščnih aeroposnetkov uporabili za

*Slika 25: Digitalni model nekdanje pokrajine Ljubljanskega polja leta 1964. ►*





Avtorica zemljevida: Mateja Breg Vajjavec  
Vir podatkov: GURS  
© Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU, 2013

razpoznavanje vbočenih reliefnih oblik, ki izražajo značilnosti gramoznic. Analiza je bila možna le na območjih, ki v tistem obdobju niso bila poraščena z gozdom ali pozidana, torej predvsem na kmetijskih zemljiščih.

Z nadaljnjo obdelavo smo iz vseh izdelanih DMP-jev izločili drevesno rastlinje in stavbe ter tako dobili golo površje oziroma relief, predstavljen z DMR. Posamezen DMR smo kvantitativno primerjali z DMR sodobne pokrajine (DMV5). Kakovost DMR1972 omogoča natančno kvantitativno določanje reliefnih razlik, medtem ko kakovost DMR1959 in DMR1964 tovrstne analize ne omogoča. Skladno s tem smo se na Ljubljanskem polju omejili izključno na vizualizacijske tehnike prikaza 3R podatkov in tako lego, obliko ter globino gramoznic določali neavtomatsko.

### 7.3 IZHODIŠČNO STANJE VRTAČ

Določanje lokacij vrtač na DMR-ju je možno izvesti z različnimi metodami: Vse temeljijo na določitvi globine oziroma krajevne koncentrične vbočenosti reliefa, značilne za vrtačo. Najbolj natančne podatke za morfometrične analize še zmeraj dobimo s terenskimi meritvami (Jennings 1975; Šušteršič 1994), ki pa so časovno zelo potratne in običajno primerne le za manjša območja (Ford in Williams 2007). Prav zato so za tovrstne analize primerni tudi aeroposnetki v velikem merilu (1 : 15.000), ki se bodisi analogno stereoskopsko pregledajo in interpretirajo (Ford in Williams 2007) bodisi se jih z metodami digitalne fotogrametrije pretvori v trirazsežnostne podatke oziroma 3R modele pokrajine (DMP, DMR).

Prva izbrana metoda je zelo robustna in temelji na vizualizaciji reliefa z različnimi tehnikami (Podobnikar in Možina 2008, 30). »... Numerične analize in vizualne analize vizualizacije DMV-jev lahko pomagajo pri prepoznavanju in odkrivanju oblik površja, kot so grebeni, vrhovi, doline, vrtače ...«.

Temelj prikaza in preučevanja reliefnih oblik s pomočjo 3R modelov je njihova vizualizacija (slika 26). Za prikaz zgornjega sloja smo uporabili hipsometrično barvno lestvico sivin (levo) in poljubno barvno lestvico (desno), ki smo jo prosojno (30 % prosojnost) prekrili čez podlago analitično senčenega DMR. Vrtače so prepoznavne po koncentrični obliki in izrazito nižji nadmorski višini od okolice.

Druga tehnika za prikaz DMR je analitično senčenje reliefa. Ne glede na široko uporabnost lahko DMR učinkovito prikažemo z analitičnim senčenjem in tako zagotovimo ustrezno interpretacijo rezultatov. Analitično senčenje kot računalniško podprta izdelava senčenega reliefa iz DMR kljub mnogim opisom naprednih prikazov reliefa ostaja ena od najbolj uporabljanih tovrstnih metod (Zakšek, Kokalj in Oštir 2010). Kot standard se je uveljavila metoda, ki jo razvil Yoëli (1965) in je pri njej vrednost sivine sorazmerna kosinusu vpadnega kota žarka neposredne osvetlitve reliefa. Gre za kot med smerjo proti viru svetlobe in pravokotnico na ploskev reliefa. Tako so glede na žarek iz navideznega svetlobnega vira pravokotna območja bela, območja z vpadnim kotom osvetlitve 90° ali več so v popolni senci in so črna, medtem ko so območja z vpadnim kotom med 0 in 90° prikazana z ustreznimi sivimi ali drugimi barvnimi toni (Zakšek, Kokalj in Oštir 2010).

Bolj sofisticirane in avtomatizirane, čeprav ne vedno tudi boljše, so različne geomorfometrične analize, ki temeljijo na računanju geomorfometričnih parametrov (naklon, ukrivljenost, topografska odprtost površja in podobno). Za natančnejšo klasifikacijo geomorfoloških oblik uporabimo dodatne, na primer hidrološke parametre (Anders, Seijmonsbergen in Bouten, 2009).

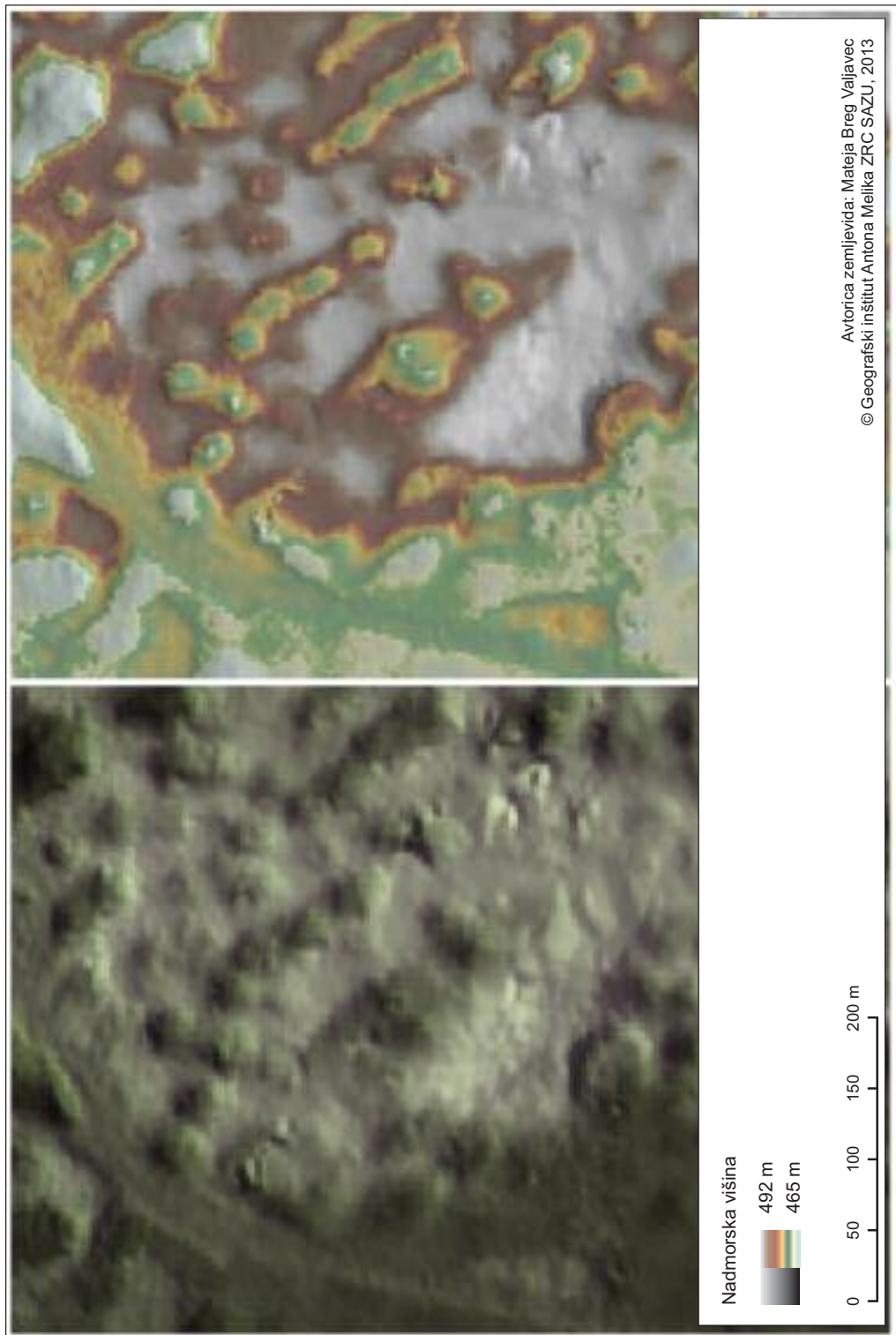
V našem primeru smo kombinirali dve metodi avtomatskega določanja vrtač. Prva metoda temelji na izpostavljanju reliefnih grebenov (angleško *ridge*) v smislu reliefnih lomov in vmesnih dolin (angleško *valley*). Reliefne grebene in doline določimo tako, da z uporabo 7 × 7 celice izračunamo višino v raz-

*Slika 26: Zaznavanje in prikaz vrtač na DMR1972 s poljubnimi barvnimi hipsometričnimi lestvicami. ►*

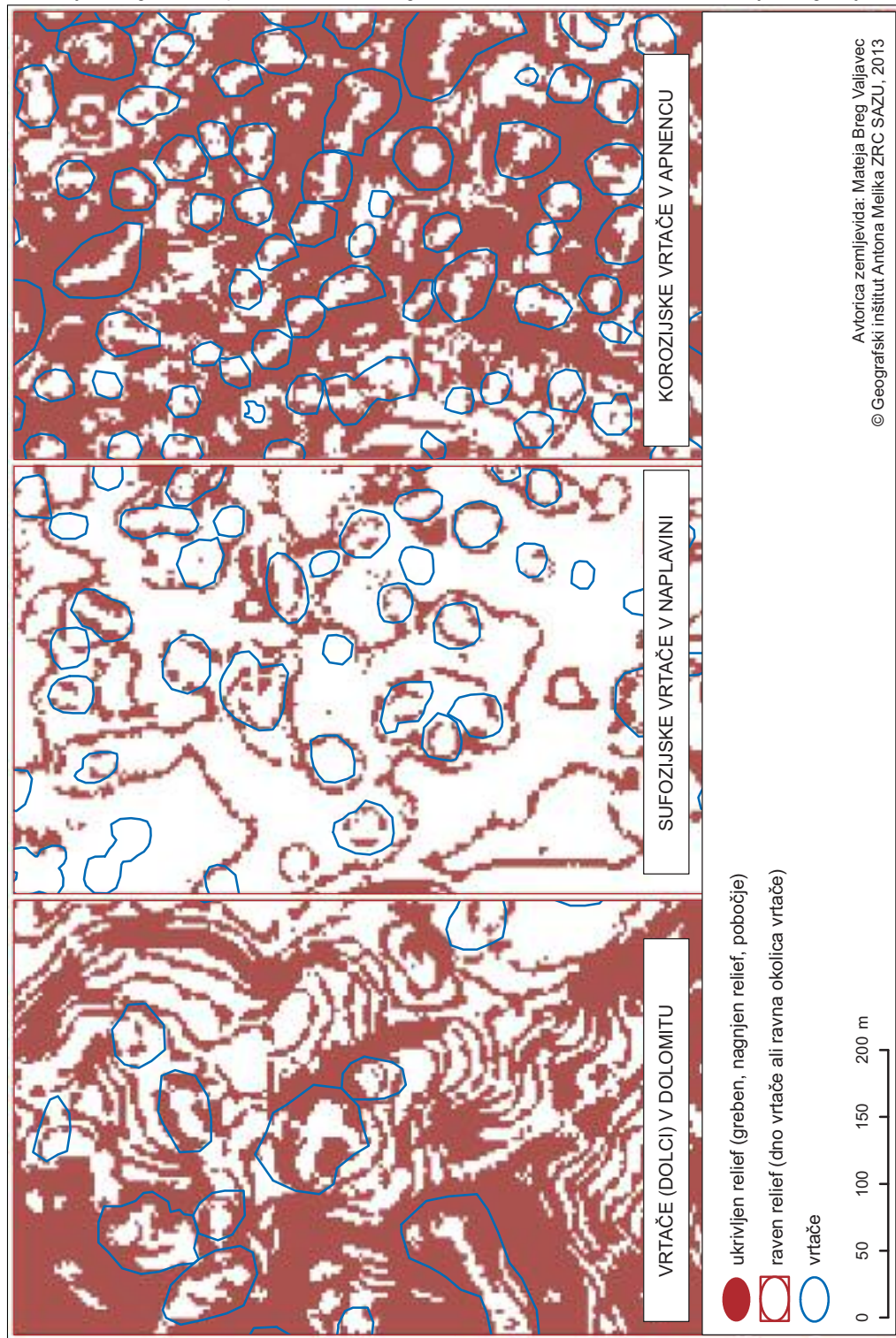
*Slika 27: Avtomatsko zaznavanje vrtač z uporabo avtomatske metode (angleško ridge / valley), ki relief razčleni na ravnine in grebene. ► str. 60*

*Slika 28: Globina vrtač v severnem delu Logaškega polja. ► str. 61*

*Slika 29: Izhodiščno stanje vrtač na Logaškem polju in Logaškem ravniku. ► str. 62*

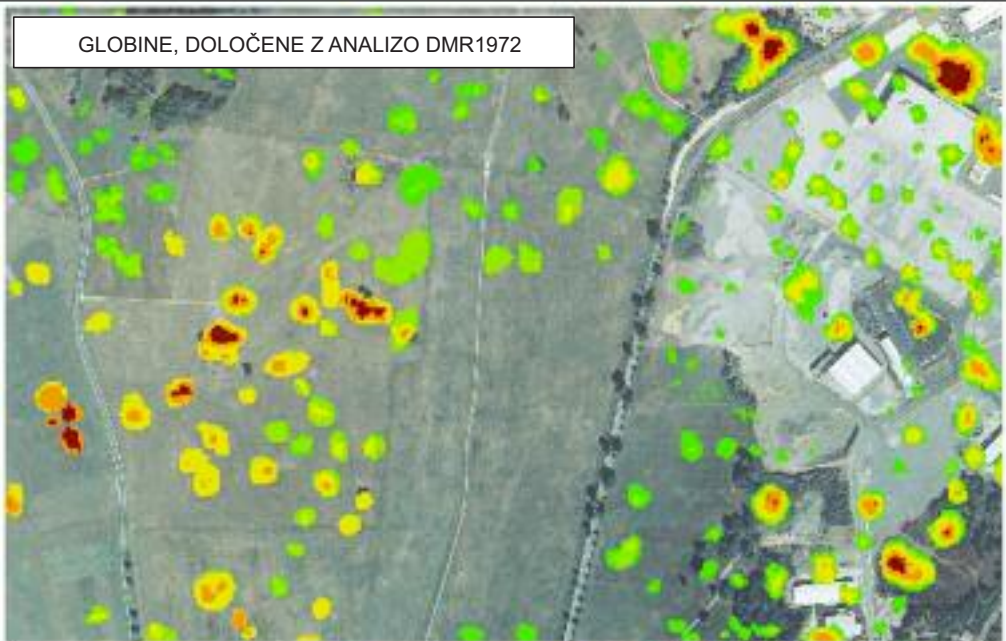




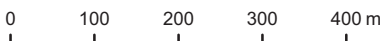
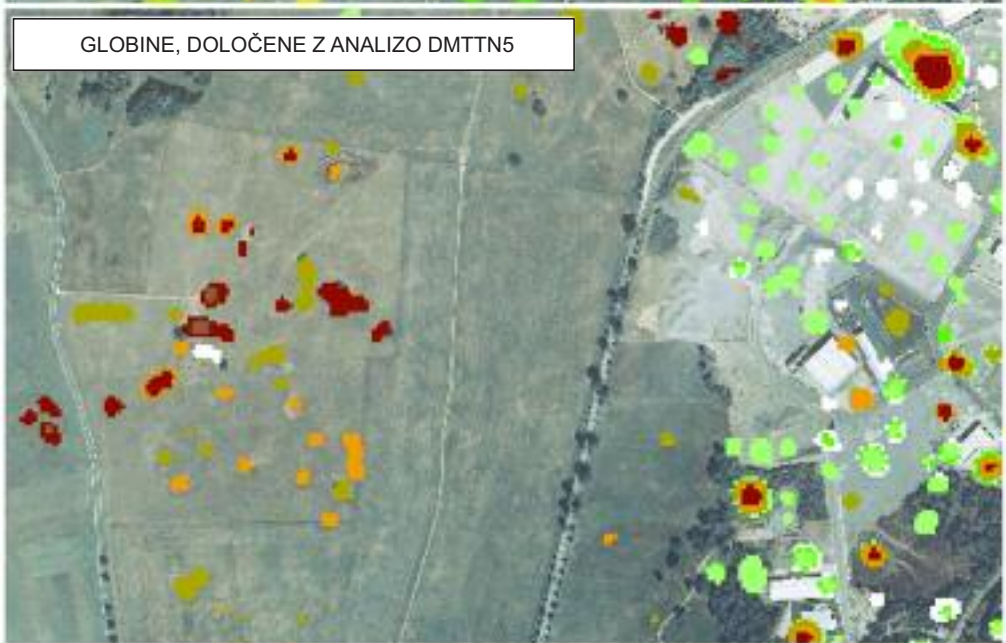




GLOBALINE, DOLOČENE Z ANALIZO DMR1972



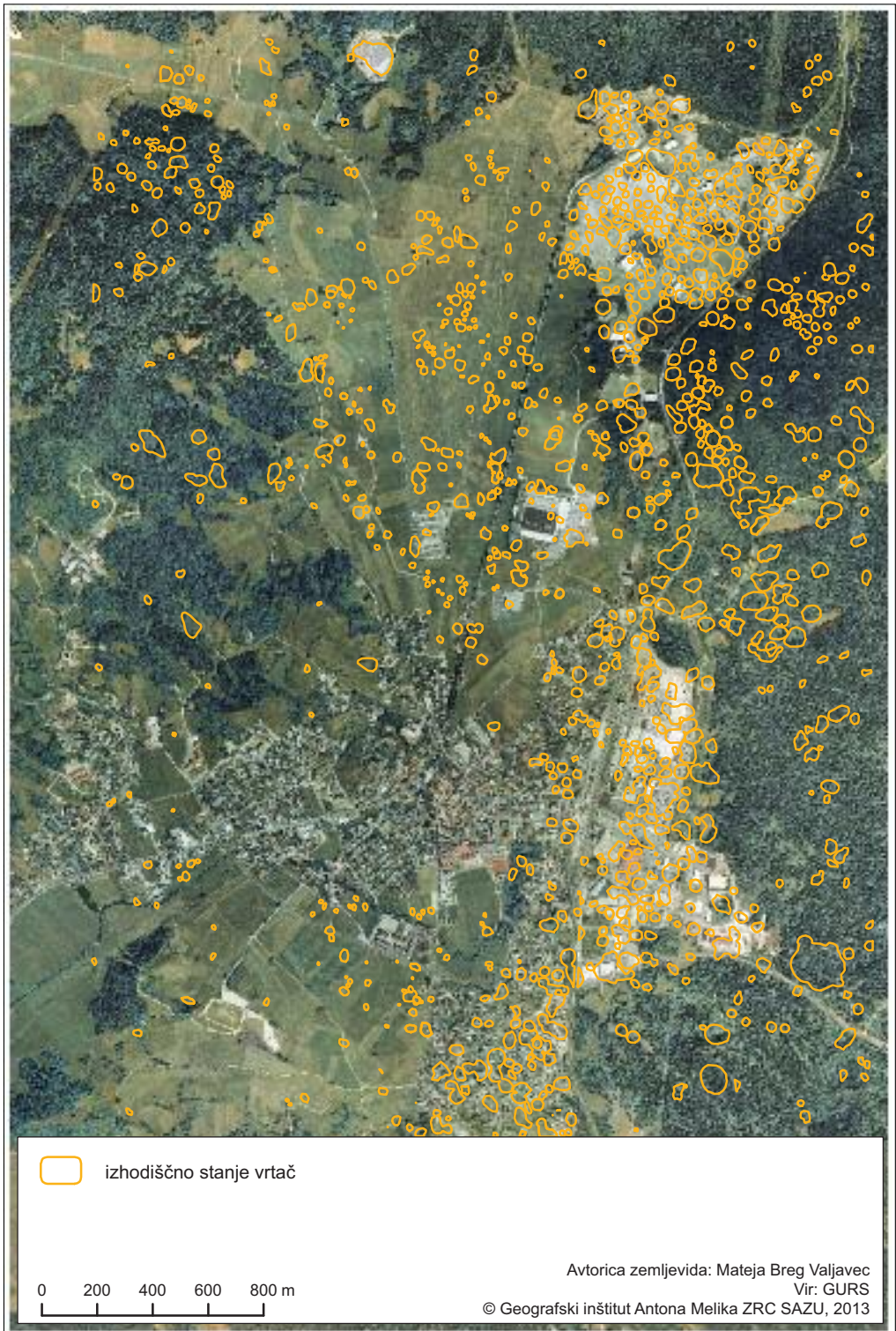
GLOBALINE, DOLOČENE Z ANALIZO DMTN5



Avtorica zemljevida: Mateja Breg Valjavec

Vir: GURS

© Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU, 2013





merju z okoliškimi točkami, pri čemer točk, ki so v neposredni bližini, ne upoštevamo. Če je središčna točka v zgornjem določenem odstotku, gre za reliefni greben, če pa je v najnižjem določenem odstotku, pa za reliefno dolino (Leica 2011).

Na sliki 27 so prikazana tri testna območja za ugotavljanje primernosti metode zaznavanja vrtač, ki se razlikujejo po geološki podlagi in tipu vrtač. Modro obrobljeni poligoni označujejo območja vrtač, ki so bila določena z metodami vizualizacije DMR1972 (slika 26). Metoda *ridge / valley* je najbolj uporabna na območju kvartarnih naplavin (sredinska slika na sliki 27) za določanje lege in oblike sufozijskih vrtač. Vrtače so izražene kot krožnice ali nepopolno zaključene linije. V tem primeru vrtačo določimo na podlagi zgornjega roba oziroma oboda. To izhaja iz morfologije agrarno spremenjenih sufozijskih vrtač z uravnanim dnom sredi uravnane okolice. Pri korozijskih vrtačah v apnencu (desna slika na sliki 27) oboda večine vrtač ni mogoče določiti, saj je apnenčasta okolica precej razgibana (grize in nagnjen teren). Tako vrtačo določimo na podlagi uravnane dna. Z uporabljenim metodo je najtežje razpoznavni vrtače, dolge in ostale vbočene reliefne oblike v dolomitu, saj je dolomitno površje nagnjeno, vrtače v dolomitu pa so premalo izrazite. Zaradi neskladij z metodo vizualizacije 3R modelov so bile določene vrtače zaznane samo z vsako metodo posebej, ne pa tudi z obema.

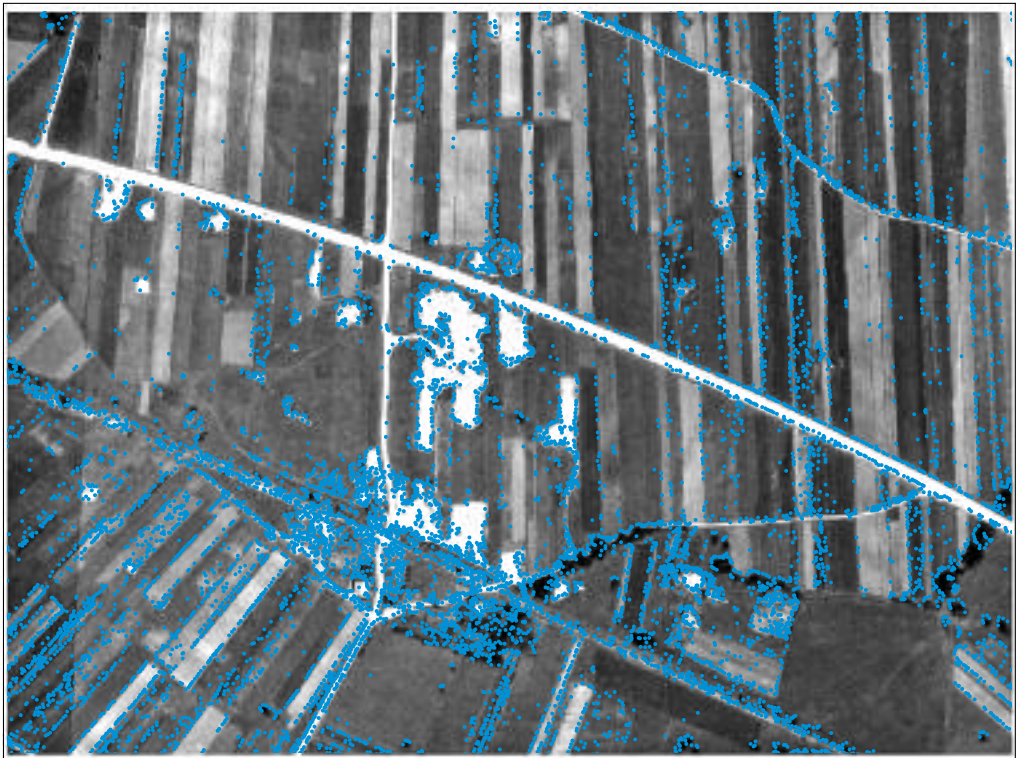
Tretja metoda temelji na prepoznavanju kotanj oziroma depresij v površju in je uporabna tudi za določanje globine vrtač. Globina vrtač je poleg lege in oblike njihov pomemben parameter, ki ga potrebujemo za izdelavo digitalnega katastra nekdanjih odlagališč odpadkov v vrtačah. Globino posamezne vrtače smo določili z analizo nekdanje pokrajine, in sicer z geomorfometričnimi analizami DMP1972 in DMTTN5 (slika 28). V prvem delu algoritma pregleda celotno površje DMR in na podlagi računanja vrednosti različnih morfološko-hidroloških funkcij (skoncentriranost toka, smer toka, določanje konkavnih oblik, porečij in podobno) določijo in hkrati do posebej določene globine oziroma višine zapolni vbočene dele površja (Tarboton, Bras in Rodriguez-Iturbe 1991; Breg Valjavec 2010). Deluje po sistemu zapolnitve vbočenih delov površja do določene kvantitativno določene meje in se ponavlja, dokler niso vse kotanje znotraj te višinske meje zapolnjene. Na tak način površje zgladimo in od njega odštejemo prvotno neizglajeno površje (osnovni 3R model). V primeru vbočenega površja je razlika negativna, v primeru izbočenega pa pozitivna.

Kakovost DMR1972 in njegovo primernost za 3R analizo vrtač smo določili tako, da smo na manjšem območju vrtače najprej določili na referenčnem modelu reliefa nekdanje pokrajine DMTTN5, izdelanem na podlagi digitalizacije in interpolacije plastnic iz TTN5. Kot referenčno število dejanskega stanja vrtač leta 1972 smo uporabili podatke o vrtačah, označenih na TTN5. Ker predpostavljamo, da je vpliv interpolacije minimalen, je teoretično število vrtač na DMTTN5 enako kot na TTN5, glavni dejavnik neujemanja pa je kakovost izbrane metode. Z vizualno interpretacijo TTN5 smo na 11,2 km<sup>2</sup> velikem območju določili 1067 poligonov vrtač, kar pomeni gostoto 95 vrtač na km<sup>2</sup>. Na gostoto, obliko in velikost vrtač poleg litološke podlage vplivajo tudi splošne morfometrične značilnosti površja, predvsem naklon in ekspozicija (Ravbar in Zorn 2003). S kombinirano metodo avtomatskega modeliranja in izločanja kotanj je bilo pri analizi DMTTN5 določenih 947 vrtač od skupno 1067, določenih na TTN5. S kombinirano metodo polavtomatskega modeliranja (zgoraj opisane tri metode) in izločanja kotanj je bilo na preučevanem območju Logaškega polja in Logaškega ravnika določenih 1276 vrtač.

Ob primerjavi lokacij in obsega poligonov vrtač, določenih na DMR1972 in DMTTN5, lahko opazimo precejšnje razlike. Vrtače iz DMR1972 so bile določene na podlagi robustne analize DMP, medtem ko so bili za določanje globine vrtač na DMTTN5 uporabljeni poligoni, določeni na TTN5. Končni rezultat (slika 29) analize nekdanje pokrajine in določanja izhodiščnega stanja v letu 1972 smo dopolnili z rezultati analize arhivskih posnetkov iz leta 1944 (Breg 2007), s čimer smo lahko locirali tudi vrtače, ki so bile med letoma 1944 in 1972 pozidane zaradi izgradnje industrijskih obratov, na primer tovarn KLI in Valkarton.

## 7.4 IZHODIŠČNO STANJE GRAMOZNIC

Analiza gramoznic temelji na digitalnem modelu nekdanjega površja, pri čemer je v ospredju tretja dimenzija (globina), po kateri se gramoznice razlikujejo od okolice, zato analizo imenujemo tudi 3R analiza. 3R analiza temelji na vizualnem določanju vbočenih reliefnih oblik, ki so posledica izkopavanja proda ali drugih posegov v relief, na primer gradnje cestnih usekov. Ker sta DMP1959 in DMP1964 predstavitev nekdanje pokrajine, za višino rastlinja in stavbnih objektov nimamo ustreznih referenčnih podatkov, zato jih nismo mogli v celoti odstraniti. Skladno s tem smo se omejili na gramoznice zunaj gozda. Metoda je predstavljena na vzorčnem območju DMP1959 na desnem bregu Save, nad vasjo Kleče, kjer so bile številne manjše gramoznice določene tudi s kontrolno 2R analizo DOF 1959, kar omogoča primerjavo rezultatov. Gramoznice smo določali na rastrskem DMP, ki smo ga prekrili z oblakom višinskih točk, nastalim kot prvi rezultat stereoizvrednotenja višin iz aeroposnetkov. Takšen »vektorski model« površja je odraz metode avtomatskega stereoizvrednotenja in pridobivanja višin, kakor tudi oblik (avtokorelacija) iz dveh prekrivajočih se stereoparov. Razporeditev pridobljenih višinskih točk je vezana na obliko objektov in meje med parcelami, ki jih je možno zaznati tudi z vizualno analizo. V praksi to pomeni, da je pravokotna stavba v oblaku točk predstavljena s točkami, ki imajo podatek o višini in so razporejene po robovih stavbe. Pomembno vlogo imajo tudi barvne razlike objektov na aeroposnetku, na primer belkasti odtenki znotraj gramoznic in sivine zunaj njih. Točke so določene po obodu gramoznic (slika 30). Gramoznico določimo na podlagi oblike in nadmorske višine njihovega oboda. V nadaljevanju smo vektorski oblak točk prekrili čez rastrski sloj digitalnega modela površja, prikaza-



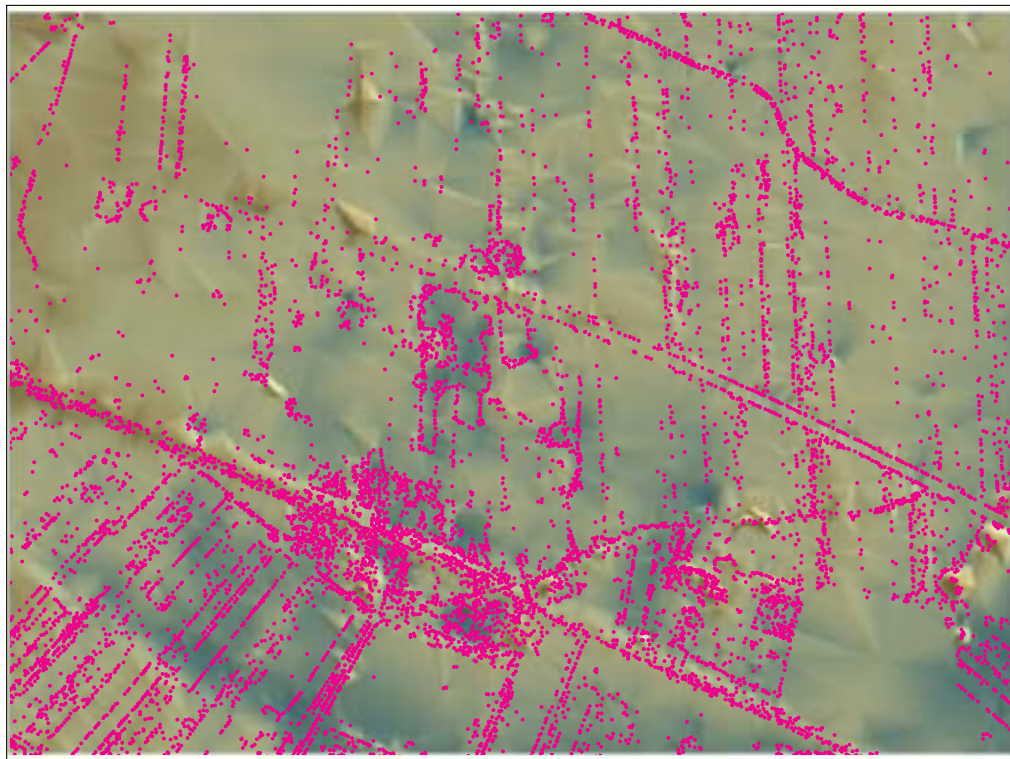
Slika 30: Vektorski oblak točk, ki nastane s stereoizvrednotenjem aeroposnetkov, je prekrit čez izhodiščni aeroposnetek.

nega s hipsometrično lestvico v kombinaciji z analitičnim senčenjem, za povečanje barvnega kontrasta pa smo uporabili učinek histogramskega izenačevanja. Vse vbočene objekte smo ročno podigitalizirali. Metoda se je izkazala kot uspešna na odprtem območju z njivami, travniki in čistinami znotraj gozda, kjer so razlike v nadmorskih višinah majhne.

Na celotnem preučevanem območju Ljubljanskega polja smo na posnetkih iz let 1959, 1964, 1970, 1975, 1979, 1985, 1989, 1995 in 1994 z zaslonko vizualno interpretacijo določili 315 območij potencialnih gramoznic. Ker posnetki iz posameznih let niso v celoti pokrivali preučevanega območja, analiza 3R modelov nekdanje pokrajine na ravni vseh let ni bila možna. Kot je bilo že povedano (poglavje 7.2.2), smo za preizkus reliefne analize uporabili posnetke iz let 1959 in 1964. DMP1959 pokriva vodovarstveno območje Kleče, medtem ko DMP1964 pokriva tudi vodovarstveno območje Jarški prod.

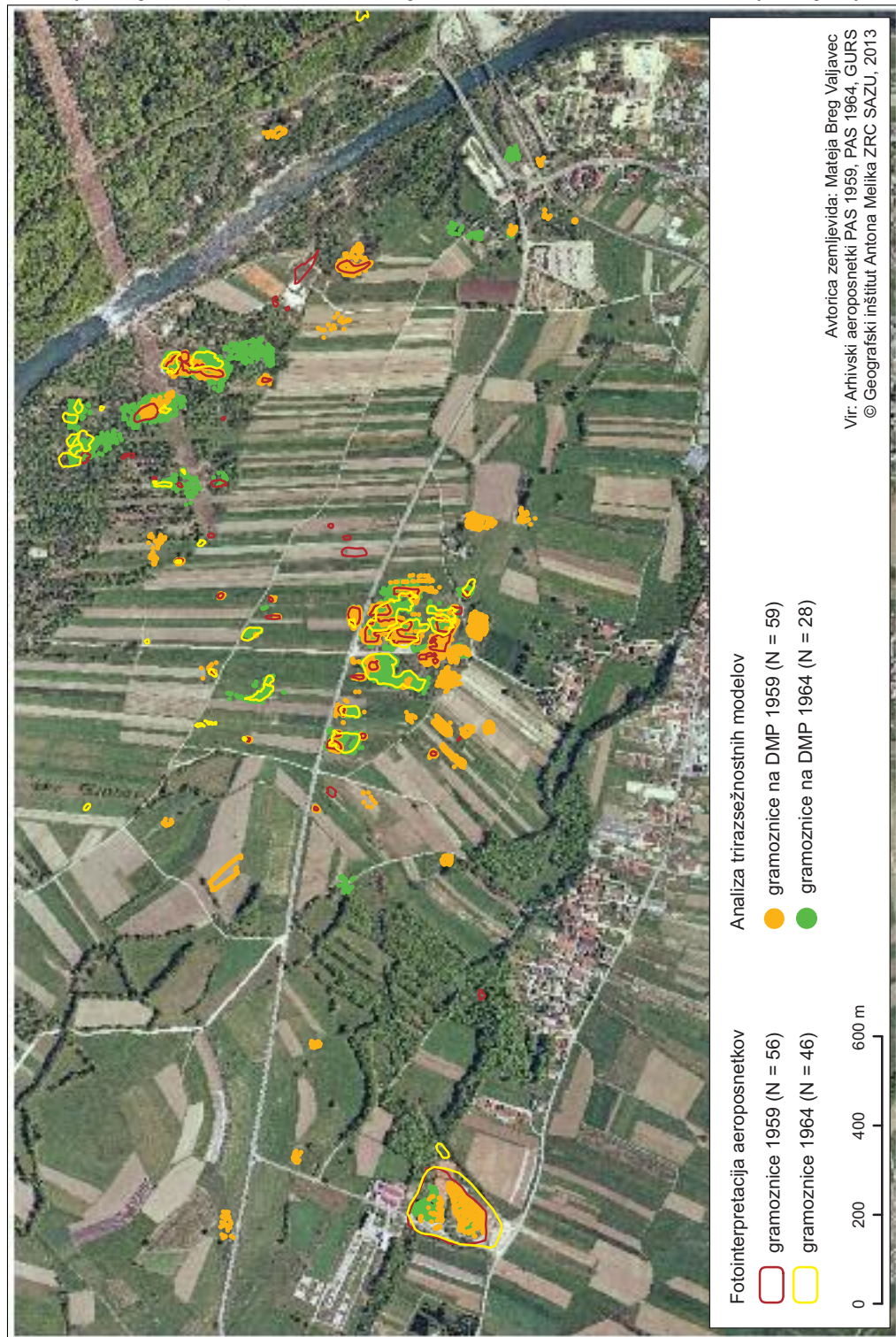
Za leto 1959 je bilo na vodovarstvenem območju Kleče značilno izkopavanje materiala v številnih manjših gramoznicah, ki so jih do leta 1975 že skoraj v celoti zasuli. Rezultati fotointerpretacije in analize 3R modelov (slika 32) se v številu gramoznic na prvi pogled v znatni meri ujemajo (56 : 59), vendar prostorska razporeditev in prekrivanje gramoznic kažeta drugače. Z obema metodama je določenih le 24 gramoznic, za katere lahko najbolj zanesljivo trdimo, da so dejansko gramoznice. Za preostalih 67 objektov, ki so bili določeni samo z eno metodo, je treba reliefne značilnosti preveriti še v sodobni pokrajini. Kot izhodiščno stanje v letu 1959 je bilo z obema metodama določenih skupno 91 potencialnih gramoznic.

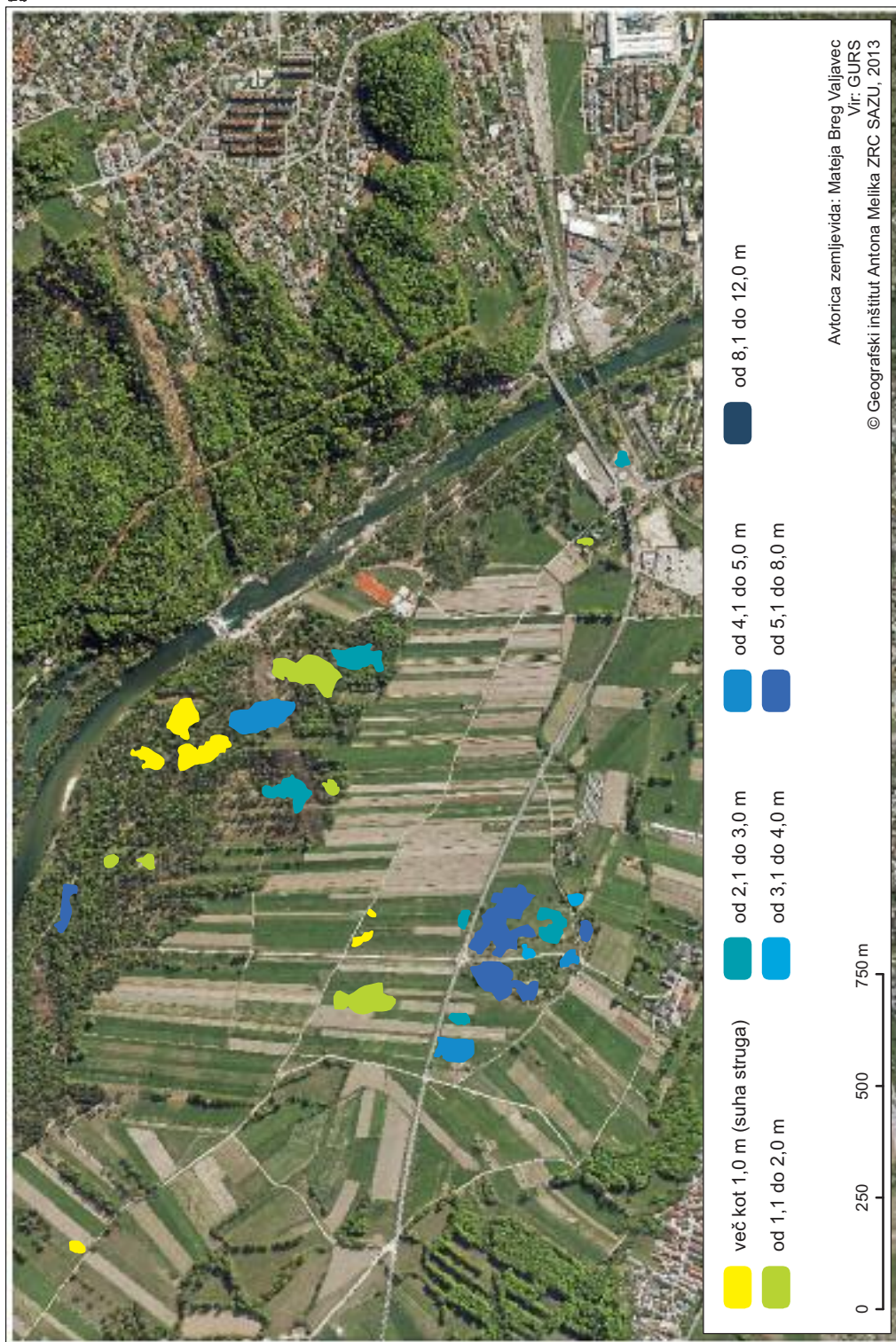
Izhodiščno število gramoznic v letu 1964 je 53, kar lahko glede na leto 1959 pomeni, da so v vmesnem obdobju precej gramoznic zasuli. Za leto 1964 je bilo od 53 gramoznic z obema metodama



Slika 31: Vektorski oblak točk, ki nastane s stereoizvrednotenjem aeroposnetkov, je prekrit čez rastrski DMR1959.









- ◀ *Slika 32: Gramoznice v nekdanji pokrajini – izrez z vodovarstvenega območja Kleče (Roje). (str. 66)*
- ◀ *Slika 33: Globina gramoznic na območju Nemške ceste leta 1964. (str. 67)*

določenih 21 gramoznic, pri čemer samo z vizualno interpretacijo 25 in samo z analizo 3R modelov 7. Največjo zanesljivost rezultatov lahko pripišemo gramoznicam, ki so bile določene na DMP1959 in DMP1964 z obema metodama in se prekrivajo. Takšnih gramoznic je 13 (slika 32), čeprav zaradi spreminjanja njihove oblike kot posledice širjenja ali delnega zasipavanja v obdobju od leta 1959 do leta 1964 to ni povsem zanesljivo. Rezultate je treba preveriti še v sodobni pokrajini.

V letih 1959 in 1964 je bila največja gramoznica v trikotniku med zdajšnjimi Miheličevo cesto (nadaljevanje obvozne Nemške ceste proti zahodu), Avšičevo cesto in Ulico Bratov Komel. Merila je kar 22.000 m<sup>2</sup>. Vkopana je bila v ježo pleistocenske savske terase, zato bi lahko govorili o pobočni gramoznici. Čeprav zaradi morfologije terena ni bila primerna za popolno zasutje, v njej vendarle obstaja sum odlaganja odpadkov. V zdajšnjem reliefu je ostanek te antropogene tvorbe viden kot zajeda v ježi terase. Območje izkopavanja je delno poraščeno, delno pozidano in delno prepreženo z vrtički. Gramoznica se dotika zahodnega roba prvega vodovarstvenega območja vodarne v Šentvidu. Ker je v dotočni smeri vodnjakov vodarne Kleče, morebitni nevarni odpadki v njej predstavljajo veliko nevarnost za okolje, predvsem za pitno vodo v omenjeni vodarni.

Nekoliko manjša je bila tako imenovana Gradisova gramoznica, ki je prav tako izkopana v ježo savske terase in je še vedno ohranjena. Njena površina je 20.000 m<sup>2</sup>. Leži tik ob trasi nekdanje nemške obvozne železnice, zgrajene v letih 1942–1943, ki pa so jo takoj po končani drugi svetovni vojni demontirali. Del te železnice je bil nekaj časa namenjen odvažanju proda iz te gramoznice proti Vižmarjam. Gramoznica, ki se dotika vzhodnega roba prvega vodovarstvenega območja vodarne Šentvid, je glede na smer podtalnice na odtočni strani. Zdaj je sanirana in namenjena športno-rekreacijski rab; v njej so tenis igrišča.

Obe predstavljeni gramoznici sta zelo veliki in na DMP1959 ter DMP1964 lahko določljivi, medtem ko so številčno prevladujoče manjše gramoznice precej težje določljive. Med večjimi gramoznicami je bila s 4000 m<sup>2</sup> površine tudi gramoznica v dotočni smeri vodarne Kleče (800 m proti severozahodu), ki je zdaj zasuta in prekrita z vrtički. Digitalna modela površja za leti 1959 in 1964 za kvantitativno primerjavo z digitalnim modeli zdajšnjega reliefa (na primer DMV 5) nista primerna. Težava je v njuni izdelavi in posledično slabi absolutni višinski natančnosti. Izdelana sta bili brez podatkov notranje orientacije iz kalibracijskega poročila kamere. Ker je gramoznic neprimerno manj koz vrtač, smo globino določili za vsako posebej neavtomatsko. Globina je za območje kotanje (poligoni so določeni bodisi na DMP1959 bodisi na DMP1964) določena na podlagi vektorskega točkovnega oblaka kot razlika med najnižjo in najvišjo točko poligona gramoznice. Globine nekaterih gramoznic smo preverili na terenu z izdelavo presekov električne upornosti tal. Na sliki 33 so globine potencialnih gramoznic predstavljene na izseku preučevanega območja. Gibljejo se od enega pa vse do osmih metrov, lahko tudi več. Domnevamo, da so manj kot meter globoke kotanje, katerih globino z vizualno interpretacijo aerosposnetkov ni mogoče določiti, ostanki starih strug reke Save in ne gramoznice. Vse globlje kotanje pa seveda lahko opredelimo kot potencialne gramoznice.

## 8 DOLOČANJE NEKDANJIH ODLAGALIŠČ V ZDAJŠNJI POKRAJINI

Reliefne analize zdajšnje pokrajine smo zasnovali na zelo natančnih podatkih o reliefu, izvedenih z laserskim skeniranjem površja (LAS, angleško *Airborne Laser Scanning / ALS*). Metodologijo zajema, kakor tudi z njo izdelan DMR, imenujemo LiDAR, zato smo končni rezultat poimenovali LiDAR DMR. Z različnimi metodami LiDAR omogoča razlikovanje med naravnimi in antropogenimi reliefnimi oblikami. Izhodišče metode, ki smo jo izdelali, je dobro poznavanje naravnega reliefa in procesov, s čimer lahko izločimo antropogene reliefne oblike, ki nastanejo z odlaganjem odpadkov v kotanje. Podatke o reliefu smo analizirali z več različnimi metodami, ki jih med seboj primerjamo, to pa nam omogoča, da z večjo gotovostjo določamo tipe reliefnih oblik (Ciglič in Gostinčar 2011). Prva metoda je vizualizacija in interpretacija lasersko skeniranih podatkov reliefa (© GEOIN 2008). Na podlagi dobrega poznavanja geomorfoloških procesov in oblik na preučevanem območju smo določali različne antropogene reliefne oblike. Druga metoda je geomorfometrično napovedovalno modeliranje. Reliefne podatke smo analizirali z avtomatskimi geomorfometričnimi metodami, ki temeljijo predvsem na določanju posebnih hidromorfometričnih značilnosti površja, kar vključuje določanje različnih morfometričnih indeksov površja.

### 8.1 RELIEFNA IZHODIŠČA V OBREČNI POKRAJINI

Preučevano območje na Ljubljanskem polju spada v fluvialni reliefni tip, ki se oblikuje z delovanjem laminarnih in koncentriranih površinskih vodnih tokov. Fluvialni relief, kot že njegovo ime pove (*fluvius* v latinščini pomeni reka), oblikuje reka oziroma površinsko tekoča voda. Laminarni tok se zaradi težnje po koncentriranju steka v linijskega, zato so značilne fluvialne reliefne oblike linijske. Na območjih, kjer je človek intenzivno posegel v naravni relief, je zgradba vodne mreže nepravilna, kaotična in razpršena.

Pri oblikovanju reliefa Ljubljanskega polja imajo najpomembnejšo vlogo reka Sava in procesi denudacije. Skozi dolgo geološko zgodovino je Sava na Ljubljanskem polju spreminjala svoj tok in pri tem odlagala prod, pesek, ilovico in ostali transportni material ter poglobljala strugo v lastne naplavine. Ko reka poplavlja, se zaradi velike količine gradiva, ki ga prenaša in odlaga na poplavni ravnici, običajno ne vrne več v staro strugo, ampak si izoblikuje novo. Ta sprememba je zelo hitra, medtem ko v normalnem stanju, ko je vodni tok v mejah rečne struge, reka na poplavni ravnici vijuga in svoj tok le počasi spreminja. Ob tem na zunanji strani rečnih okljkov gradivo odnaša (proces imenujemo rečna erozija), na njihovi notranji strani meandrov pa odlaga (govorimo o odlaganju ali sedimentaciji). Proces denudacije so manj intenzivni, a stalno prisotni. Denudacija, ki deluje poskovno in linijsko, relief znižuje sicer počasi, vendar učinkovito. Glavne naravne reliefne oblike, ki so se izoblikovale s temi procesi, so **suhe struge** oziroma **stare, fosilne struge**, po katerih Sava ne teče več. Gre za podolgovate vbočene reliefne oblike, ki jih v reliefu zaznavamo kot območja z manjšo nadmorsko višino, dobro razpoznavna na zelo natančnih LiDAR modelih reliefa.

Antropogeno spreminjanje reliefa na preučevanem območju Ljubljanskega polja se je skozi zgodovino izražalo z izkopavanjem proda oziroma gramoza. Nastajali so številni manjši izkopi, pogosto v obliki zemljiških parcel. Nekateri so se kot vbočene reliefne oblike ohranili do sodobnosti. Zasute gramoznice v reliefu ne izstopajo, saj so bile z zasutjem izravnane z okoliškim površjem. Gramoznice so antropogena reliefna oblika, ki je v svojem prostorskem razvoju zelo dinamična. V obdobju izkopavanja se njihova vbočena oblika sčasoma širi in pogloblja. Antropogeno preoblikovanje reliefa se najbolj izrazito kaže v izrazito vbočenih reliefnih oblikah, kakršne so kotanje nezasutih gramoznic, in izrazito izbočenih, kakršni so nasipi. Takšne oblike lahko določamo tudi na manj natančnih modelih reliefa, na primer na DMV5 (© GURS 2006). Po končanem izkopavanju ostane reliefna oblika vbočena in kaj hitro jo preraste pionirsko rastlinstvo. Kot takšna je razmeroma dobro določljiva na DMR. Gramoznice, ki so jih zapolnjevali z odpadki, so lahko delno ali povsem zasute. Delno zasute ohranijo vbočeno obliko, medtem ko je večina gramoznic, v katere so nekoč masovno odlagali odpadke, popolnoma zasuta in izravnana z okoliškim reliefom. Dandanes so bodisi rahlo izbočene bodisi uravnane, zaradi poseganja odpadkov pa tudi že rahlo vbočene. Ker so odpadki zelo heterogeni, se zelo različno posedajo.



Slika 34: Odlagališča odpadkov v nekdanjih gramoznicah (črtkana črna črta) na senčenem LIDAR DMR (levo) in barvnem aeroposnetku (desno).

Skladno s tem se oblikuje grbasto oziroma grbinasto površje, ki pa je v fluvialnem reliefu aluvialne ravnine tujek. Prav grbinast relief (slika 34) je lahko zelo dober pokazatelj podzemno odloženih odpadkov.

## 8.2 VIZUALNA ANALIZA RELIEFA

Lidarski digitalni model reliefa smo vizualizirali z različnimi metodami in kombinacijami metod ter v sodobni pokrajini določili reliefne anomalije, ki so predvidoma antropogenega izvora. Pri tem smo se oprli na poznavanje naravnih geomorfoloških značilnosti območja, predvsem na analizo suhih strug. Določili smo reliefne anomalije v strugah, ki so posledica človeškega delovanja in se kažejo kot izbočene reliefne oblike (nasutje odpadkov), ki na določenem odseku prekinejo potek struge, vendar se ta potem spet nadaljuje (slika 35). Določili smo tudi vbočene reliefne oblike v sodobni pokrajini, ki so lahko delno zasute ali povsem ohranjene opuščene gramoznice.

Rezultat vizualne analize je 140 objektov na 8,2 km<sup>2</sup> prostranem ozemlju, za katerega smo imeli na razpolago LiDAR podatke iz leta 2008 (© GEOIN 2008). Njihova skupna površina je 282.196,79 m<sup>2</sup>. Povprečna površina je 2015,69 m<sup>2</sup>, površina najmanjšega 14,22 m<sup>2</sup> in največjega 37.415,49 m<sup>2</sup>. Glede na reliefno izoblikovanost smo objekte razdelili v tri skupine, pri čemer je prva razčlenjena na tri podskupine:

1. grbasto površje (domnevno zasuta gramoznica):
  - rahlo izbočeno grbasto površje,
  - uravnano grbasto površje,
  - rahlo vbočeno grbasto površje;
2. izrazito izbočeno površje (domnevno zasuta gramoznica ali le večji kup odloženih odpadkov, izrazito dvignjen nad okolico);
3. izrazito vbočeno površje (domnevno nezasuta gramoznica ali suha struga, odločitveni kazalnik je globina).





Slika 35: Nekdanja odlagališča odpadkov v suhih strugah (črtkana črna črta) na LiDAR DMR (levo) in barvnem aerosonetku (desno).

Z vizualno interpretacijo digitalnega modela reliefa smo potrdili, da z odpadki zasute ali nezasute gramoznice sooblikujejo površinsko hidrografska mrežo. Zasute gramoznice z grbasto uravnanim, grbasto rahlo izbočenim ali grbasto rahlo vbočenim površjem (odvisno od posedanja odpadkov) povzročajo, da je modelirana hidrografska mreža na območjih z njimi začasno prekinjena, motena.

### 8.3 NAPOVEDOVALNI GEOMORFOMETRIČNI MODEL

Napovedovalni geomorfometrični model temelji na večkriterijskem (GIS) modeliranju reliefa in je primeren za določanje popolnoma zapoljenih gramoznic. Z metodološkega vidika smo upoštevali dve pomembni izhodišči (slika 36).

Po prvem je večina gramoznic, v katere so nekoč masovno odlagali odpadke, zdaj popolnoma zapolnjena z njimi in izravnana z okoliškim površjem. Relief je bodisi rahlo izbočen, uravnan ali zaradi posedanja odpadkov že rahlo vbočen. Ker so odpadki zelo heterogeni, se tudi zelo različno posedajo. Skladno s tem se oblikuje grbasto oziroma grbinasto površje, ki pa je v fluvialnem reliefu aluvialne ravnine tujek. Prav grbinasti relief je lahko najboljši pokazatelj podzemno odloženih odpadkov.

Skladno z drugim izhodiščem smo z geomorfometrično analizo določili območja, ki imajo reliefne značilnosti podobne zasutim gramoznicam. Poimenovali smo jih **območja, značilna za izbočena odlagališča**.

**Izhodišče 1** temelji na **analizi vodne mreže**, ki jo sestavljajo suhe struge, v povezavi z modelirano mikrohidrografska mrežo denudacijskih tokov, katere zgradba je v znatni meri vezana na obstoječo rabo tal. Hidrološki procesi na Ljubljanskem polju potekajo na izjemno velikih in ravnih površinah, z zelo majhnimi relativnimi višinskimi razlikami, zato je posledice njihovega delovanja lokalno težje zaznati. Lokacijsko in višinsko zelo natančen model reliefa omogoča **hidrološko in geomorfometrično analizo** naravnih pojavov in procesov, v našem primeru natančno modeliranje vodnih tokov in določanje antropogenih prvin reliefa z nelinejsko obliko. Na preučevanem območju je oblikovanje hidrografske mre-

že rezultat delovanja naravnih in antropogenih dejavnikov. Količina padavin je povsod enaka, prav tako ni bistvenih razlik v geološki podlagi. Menjavajo se prodi, peski, gline, ilovice, ki omogočajo vertikalni odtok površinske vode v podzemni vodonosnik. Zato je pomemben dejavnik oblikovanja površinske vodne mreže relief. Poglavitna naravna reliefna oblika so suhe struge, za antropogeni relief pa so značilni nasipi, useki, izkopi, denimo nasip in usek nekdanje nemške železnice, seveda tudi zasute in nezasute gramoznice.

Natančni laserski digitalni model reliefa je prostorsko tako zelo natančen, da omogoča izdelavo izjemno natančnega modela hidrografske mreže. Območja zasutih gramoznic se pokažejo kot prekinitev ali izrazita sprememba v poteku vodnih tokov. Prekinitve so zato določljive na ravni večjih kanalov, kot so suhe struge, kakor tudi manjših tokov zunaj območij suhih strug.

Ta metodološka izhodišča omogočajo, da območja zasutih gramoznic določamo neposredno v suhih strugah (zapolnitve strug ali njihove poglobitve), tik ob njih in na vmesnih območjih zunaj suhih strug, torej na fosilnih prodiščih.

Na podlagi laserskega skeniranja površja (LiDAR) narejen DMR smo najprej ustrezno obdelali in pripravili za hidrološke in geomorfometrične analize. Model smo najprej zgladili z zapolnitvijo manjših »luknjic« (angleško *sink*), potem pa s pomočjo temeljnih geomorfometričnih značilnosti (naklon površja, ukrivljenost ...), ki so bistvene za nekdanja odlagališča odpadkov, delno rekonstruirali območja suhih strug v obrečni pokrajini. Bistvena geomorfološka značilnost suhih savskih strug so zelo majhni nakloni (manj kot  $0,5^\circ$ ) v precej širokem dnu struge, ki se na pregibu v brežino kaj hitro povečajo na nekaj stopinj.

Izdelali smo tudi model hidrografske mreže preučevanega območja, ki je predstavljen z linijami vodnih tokov (slika 36 – izhodišče 1), osredinjenih v suhih strugah. Kljub majhnim naklonom in skromnim relativnim višinskim razlikam je površje Ljubljanskega polja zaradi prepletanja suhih strug zelo razgibano, zato je pestra in dinamična tudi njegova hidrografska mreža. Sistem starih rečnih strug je povezan s sodobno »površinsko« mrežo vodnih tokov, ki so predvsem denudacijskega izvora. Ker je denudacija vezana na talno stekanje vode, so suhe struge še vedno pomembna odvodna žila površinske vode, čeprav te v njih ni in so prav zato dobile takšno ime.

**Izhodišče 2** temelji na **ugotovitvah vizualne analize LiDAR DMR**, da imajo zasute gramoznice večinoma rahlo izbočen do uravnan grbinast relief, ki je v fluvialnem obrečnem reliefu tujek. Z geomorfometrično analizo smo določili območja, ki imajo reliefne značilnosti podobne zasutim gramoznicam. Poimenovali smo jih **območja, značilna za izbočena odlagališča**; gre torej za **območja z visokim reliefnim potencialom za nekdanje odlagališče odpadkov v kotanji**. V programu SAGA smo z geomorfometričnim modulom za računanje indeksa stekanja (angleško *convergence index*) določili območja raztekanja in stekanja površinskih vod. Pomensko je podoben plenarni ali horizontalni ukrivljenosti reliefa (angleško *curvature*), a daje veliko boljše rezultate. Izračun temelji okoliških celicah, to pomeni, da razkrije, do katere stopinje so celice v okolici usmerjene na sredinsko celico. Rezultat je predstavljen v odstotkih, pri čemer negativne vrednosti ustrezajo stekanju vodnega toka, pozitivne vrednosti pa njegovemu odtekanju. Minus 100 bi torej predstavljalo vrh stožca (a), plus 100 kotanjo (c) in 0 ravno pobočje (b) (Gallant in Dowling 2003). Konvergentna območja z indeksom izločimo, saj za površje zasutih gramoznic niso značilna, pač pa predstavljajo naravne vbočene reliefne oblike, torej suhe struge, in nezasute gramoznice. Območja ravnega reliefa smo od neravnega oziroma valovitega in grbastega površja ločili z večločljivostnim indeksom ravnega dolinskega dna (angleško *multiresolution index of valley bottom flatness – MrVBF*), ki je v programu SAGA samostojen modul, nemenjen kartiranju sedimentacijskih območij, v našem primeru suhih strug.

MrVBF algoritem (Gallant in Dowling 2003) deluje na rastrskih DMR. Uravnanost dolinskega dna (angleško *valley flattens – VF*) je izračunana kot funkcija lokalne topografske lege v celici znotraj premikajoče se sence in pobočja v  $3 \times 3$  oknu celice. Celica je del ravne doline, ki je lokalno nizka in ima nizko pobočje. Približne vrednosti VF za več ločljivosti so izračunane tako, da DMR zaporedoma vzorčimo na vedno bolj slabe ločljivosti. MrVBF indeks je tako izmerjena kombinacija posameznih vrednosti VF, kjer so vrednosti VF, manjše od 0,5, opredeljene kot grebeni in so zato izločene. Glavna potencial-

na težava pri algoritmu MrVBF je, da na več lestvicah doseže rezultate tako, da uporabi več ločljivosti in ne več lestvic. Čeprav slabše ločljivosti, ki jih dobimo s ponovnim vzorčenjem prvotnega DMR, terenske informacije le-tega do določene mere zabrišejo, je v nekaterih primerih lahko takšno odstranjevanje podatkov celo zaželeno (Gallant in Dowling 2003).

Model sestavljata podatkovna sloja opisanih geomorfometričnih indeksov v povezavi z možno rabo tal na območju zasutih gramoznic. Rabo tal smo kategorizirali na podlagi podatkov kmetijske rabe tal (© MKGP 2009), ki natančno opredeljuje predvsem kategorije kmetijske rabe. Rastrski sloji imajo vrednosti 0 in 1, pri čemer je 1 značilnost zasute gramoznice:

- sloj 1 – indeks konvergentnosti oziroma stekanja površja: 1 = območja raztekanja, 0 = različna območja stekanja oziroma odtekanja [MrVBF\_1\_0],
- sloj 2 – večločljivostni indeks ravnega dolinskega dna: 1 = neravna, valovita območja (grbast, valovit relief), 0 = ravna območja [CONVERG\_1\_0],
- sloj 3 – raba tal: 1 = negativna raba tal s precejšnjo možnostjo pojavljanja zasutih odlagališč odpadkov (trajni travniki, zemljišča v zaraščanju ...), 0 = pozitivna raba tal z zelo majhno možnostjo pojavljanja zasutih odlagališč odpadkov (njive, pozidana zemljišča) [MKGP\_1\_0].

Rastrske podatkovne sloje smo prekrili in jih v en sam sloj povezali z naslednjo enačbo:

$$([\text{MRVBF\_1\_0}] + [\text{CONVERG\_1\_0}]) * [\text{MKGP\_1\_0}].$$

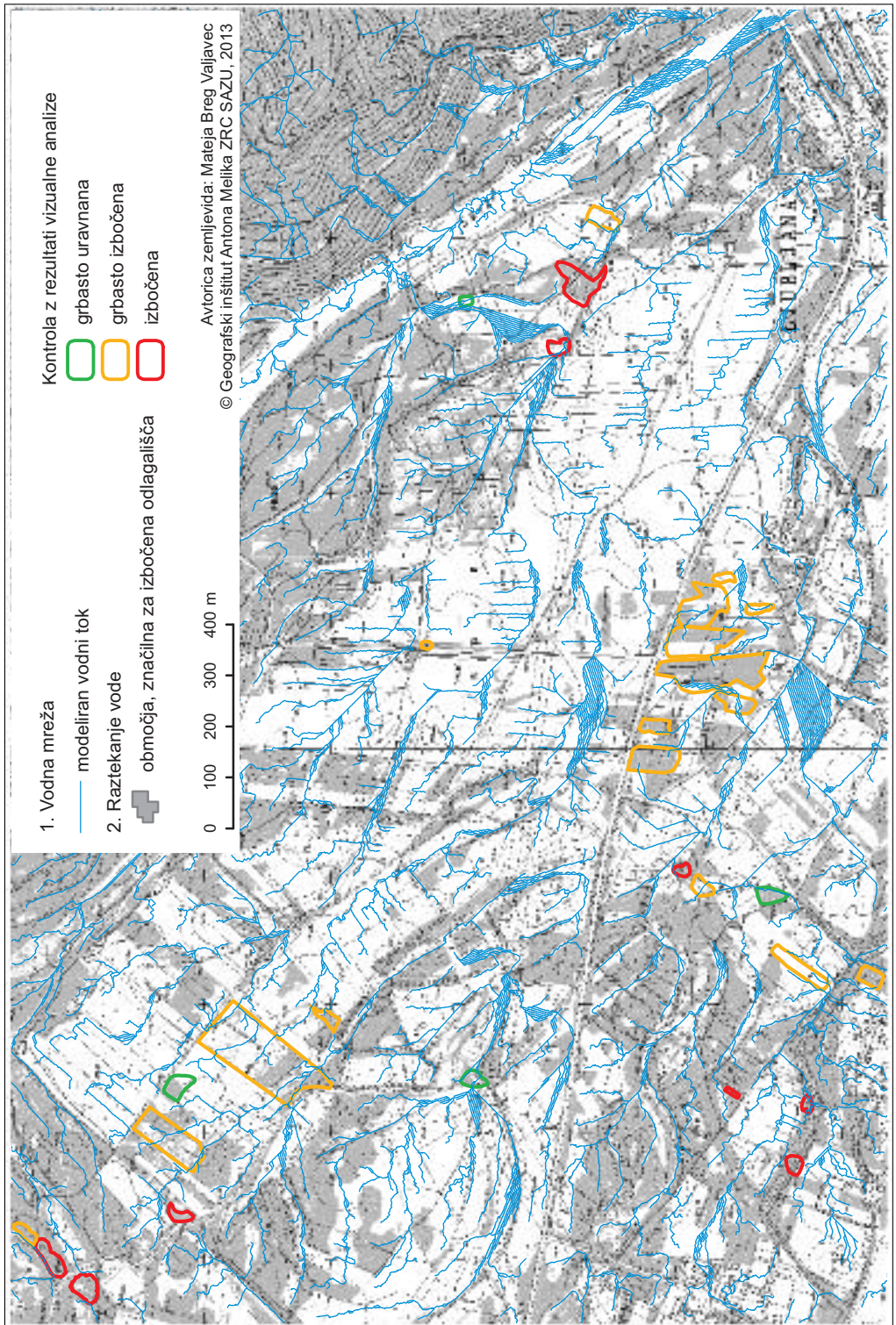
Rezultat modeliranja je rastrski sloj z vrednostmi 0, 1 in 2. Vrednost 0 zaznamuje območja, kjer se posledice odlaganja odpadkov v gramoznice ne odražajo v značilnostih površja. Na drugi strani vrednost 2 zaznamuje območja z visokim reliefnim potencialom, kjer so značilnosti površja posledica odlaganja odpadkov v zasutih gramoznicah. Območja z vrednostjo 1 so nekje vmes med obema skrajnostma. Območja z uravnanim ali rahlo izbočenim grbinastim površjem, ki smo jih določili z vizualizacijo reliefa in se povsem ujemajo z območji visokega reliefnega potenciala (slika 36), lahko z gotovostjo uvrstimo med nekdanja odlagališča odpadkov, pri katerih so reliefne posledice zaradi odlaganja odpadkov določljive z geoinformacijskimi metodami. Območja smo primerjali še z rezultati drugih metod (nekdanja pokrajina), nakar smo jih v sintezni karti (slika 56) dokončno ovrednotili in določili stopnjo okoljskega tveganje posamezne potencialne gramoznice.

Opisana metoda omogoča samostojno določanje nekdanjih odlagališč odpadkov z zelo natančno določitvijo lege in oblike ter prostorske razširjenosti objekta. V primerjavi s 3R analizo nekdanjega površja je neprimerno hitrejša. Poglavitna težava njene omejene uporabnosti so pomanjkljivi LiDAR podatki, saj ne obstajajo za celotno Slovenijo in so tudi zelo dragi.

Poseben problem predstavljajo z gozdom pokrita območja, ki izražajo reliefne značilnosti, podobne zasutim gramoznicam. V gozdu človek ne posega v prsti in jih v primerjavi z obdelovalnimi kmetijskimi zemljišči in zemljišči v mestih tako rekoč ne preoblikuje. Gozdnati relief z laserskim skeniranjem zaznavamo kot grbinasto površje, ki je značilno tudi za povsem zasute gramoznice. Problemu se izognemo tako, da na kritični lokaciji s pomočjo ortofoto posnetkov in LiDAR vegetacijskega sloja določimo gostoto in višino dreves. Če so drevesa visoka, uspevajo na statično stabilni matični podlagi in naravnih prsteh, ki jim omogočajo stabilno rast v višino. Na območjih zasutih gramoznic uspevajo nižja drevesa grmovne rasti, saj nerazvite prsti in nehomogena matična podlaga, odpadki torej, visokim drevesom (na primer hrastu dobu) ne zagotavljajo statične stabilnosti. Pomanjkljivost metode je tudi, da z njo ne moremo določiti obdobja nastanka objekta, časa izkopavanja gramoza in časa zasipavanja z odpadki, niti vrste zasipnega gradiva. Zaradi zelo visoke prostorske ločljivosti so LiDAR podatki za obdelavo zelo zahtevni in zahtevajo izjemno zmogljivo strojno in programsko opremo. Metoda je seveda neuporabna tudi za pozidana zemljišča, kjer je površje antropogeno povsem spremenjeno.

*Slika 36: Kartografski prikaz in razporeditev izhodišč za določanje lokacij nekdanjih odlagališč odpadkov z LiDAR DMR. ► str. 74*





## 9 PRIMERJAVA NEKDANJE IN ZDAJŠNJE POKRAJINE

V predhodnih poglavjih smo predstavili preučevanje odlagališč odpadkov in nezasutih kotanj v nekdanji in sodobni pokrajini. V nadaljevanju pa predstavljamo primerjavo nekdanje in sodobne pokrajine na podlagi primerjave 3R modelov v različnih časovnih obdobjih. Izhajajoč iz predpostavke, da so bile antropogene reliefne spremembe zaradi odlaganja odpadkov v vrtače hitrejšje kot naravni krasotvorni procesi, sklepamo, da je na Logaškem polju in Logaškem ravniku zdaj manj vrtač kot pred petdesetimi leti oziroma pred njihovo intenzivno degradacijo zaradi zasipavanja z odpadki. Prav tako je z odpadki zasuta večina gramoznic na Ljubljanskem polju, ki so bile določene z analizami nekdanje 3R pokrajine v petdesetih in šestdesetih letih 20. stoletja. Območja zasutih vrtač lahko določamo s kvantitativno primerjavo (slika 37), tako da od rastra, ki predstavlja zdajšnji relief, odštejemo raster nekdanjega reliefa iz časa pred zasutjem kotanje. Višinske razlike s pozitivnim predznakom pomenijo zvišanje reliefa, ki je lahko posledica odlaganja odpadkov. Podobno lahko ugotavljamo tudi pri gramoznicah.

Za uspešno izvedbo opisanega postopka sta pomembni dobra kakovost obeh 3R modelov ter uporaba istega tipa 3R modela (oba morata biti DMR ali DMP), kar omogoča prekrivanje in matematične operacije med rastrskimi podatki. Zasutost vrtač smo določili z analizo obeh digitalnih modelov nekdanje pokrajine (DMR1972, DMTTN5), ki smo ju kvantitativno primerjali z DMV-jem sedanje pokrajine s petmetrsko prostorsko ločljivostjo (DMV5, © GURS 2006). Kvantitativne primerjave 3R modelov zasutosti gramoznic zaradi preslabe kakovosti 3R modelov DMP1959 in DMP1964 nismo izvedli. Slaba kakovost je posledica pomanjkljivih podatkov o notranji orientaciji kamere, saj so se kalibracijska poročila izgubila.

Ustreznost DMR1972 za primerjalne analize smo potrdili že v podpoglavju 7.3, kjer smo z enakimi metodami določili vrtače na DMR1972 in referenčnem modelu reliefa nekdanje pokrajine DMTTN5. Z vidika metode izdelave fotogrametričnega modela reliefa so šibka točka gozdnata območja, pri čemer je problem predvsem težka določljivost ustreznih in dovolj natančnih oslonilnih točk.

DMV5 je bil izdelan na podlagi letalskih posnetkov cikličnega aerofoto snemanja v letu 2006 (CAS 2006), izvedenega pod okriljem GURS. Med primerjavo smo na podlagi natančnega poznavanja preučevanega območja ugotavljali, da DMV5 kljub visoki prostorski ločljivosti ne kaže vseh vrtač. Terenska kontrola lokacij vrtač je namreč pokazala, da so mnoge vrtače enostavno izpuščene oziroma jih ni. Gre za veliko število manjših vrtač, pa tudi za posamezne večje vrtače, globoke do 6 m. Takšen primer je tudi edina ohranjena nezasuta vrtača na Pustem polju, 350 m severno od Valkartona, prikazana na sliki 13, ki se zaradi slabe kakovosti podatkov ob kvantitativni primerjavi obeh DMR-jev pokaže, kot da bi bila zasuta. Seveda to onemogoča pridobitev kakovostnejših podatkov o zasutih vrtačah. Za bolj kakovostno analizo so primerni natančni LiDAR podatki, druga možnost pa bi bila izdelava lastnega fotogrametričnega DMR iz posnetkov CAS.

Rezultat odštevanja DMR nekdanje pokrajine od DMR sodobne pokrajine je rastrski sloj z negativnimi in pozitivnimi vrednostmi. Za določitev zasutih vrtač smo izbrali pozitivne vrednosti, ki so leta 2006 predstavljale višji relief. Pripisali smo jim enotno vrednost 1. Oba rastrska podatkovna sloja smo razdelili v dva razreda:

- 1. razred z vrednostjo celice 1, ki označuje v letu 2006 višje površje,
- 2. razred z vrednostjo celice 0, ki označuje v letu 2006 enako ali nižje površje.

Da bi zagotovili večjo zanesljivost rezultatov, smo rezultate primerjalnih analiz obeh digitalnih modelov nekdanjega površja (DMR1972 in DMTTN5) združili.

Tako prirejena podatkovna rastrska sloja v obliki KARTE 1 (slika 38) in KARTE 2 smo sešteli in dobili KARTO z vrednostmi celic 0, 1 in 2 ter na ta način določili kataster zasutih vrtač. Višja kot je vrednost celice, večja je možnost, da je vrtača zasuta.

- 1. stopnja (vrednost celice 2) z vrtačami, ki so z analizo obeh modelov nekdanjega površja prepoznavne kot višje površje, iz česar sklepamo na njihovo zasutost;
- 2. stopnja (vrednost celice 1) z vrtačami, ki so kot višje površje prepoznavne samo na enem modelu nekdanjega površja;
- 3. stopnja (vrednost celice 0) z vrtačami, ki kot višje površje niso prepoznavne na nobenem od modelov.



**DOLOČITEV RELIEFNIH RAZLIK V OBDOBJU 1972–2006**

ZDAJŠNJA POKRAJINA	RELIEFNI PODATKI ZDAJŠNJE POKRAJINE	
	DMV5 (© GURS 2006)	
	obstoječi DMV celotne Slovenije, celica 5 x 5 m	

NEKDANJA POKRAJINA	RELIEFNI PODATKI NEKDANJE POKRAJINE	
	DMR1972	DMTTN5
	Fotogrametrični DMR, izdelan s stereo-obdelavo arhivskih aeroposnetkov iz leta 1972 (prostorska ločljivost 5 m).	DMR, izdelan na podlagi digitalizacije plastnic na topografskem načrtu v merilu 1:5.000 in prostorsko interpolacijo v rastrsko sliko ločljivosti 5 m.

DMV5 – DMR1972

DMV5 – DMTTN5

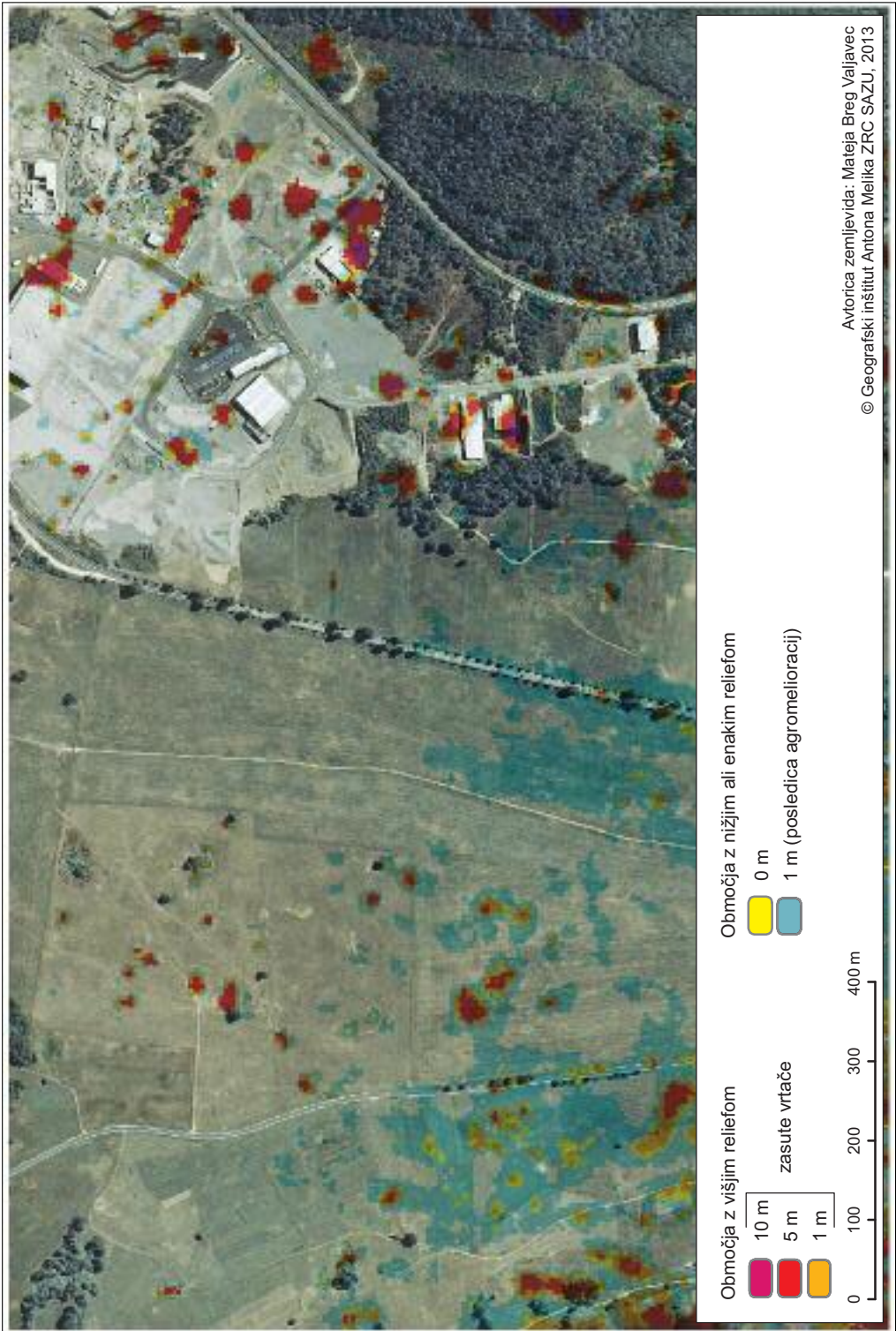
<b>KARTA 1 RELIEFNIH RAZLIK</b>	<b>KARTA 2 RELIEFNIH RAZLIK</b>
zvišan relief (1)	zvišan relief (1)
znižan ali nespremenjen relief (0)	znižan ali nespremenjen relief (0)

KARTA 1 + KARTA 2

KATASTER ZASUTIH VRTAČ			
vrednost celice	2	1	0
reliefna razlika med letoma 1970 in 2006	višji relief na DVEH KARTAH	višji relief na vsaj ENI KARTI	nespremenjen ali nižji relief
REZULTAT	<b>ZASUTA VRTAČA</b>	/	/

Slika 37: Shematski prikaz določanja vrtač z primerjalno analizo reliefa v dveh časovnih obdobjih.

Slika 38: Območja zasutih vrtač glede na izračunane reliefne razlike med letoma 1972 in 2006. ►



## 10 PREUČEVANJE ZASUTIH KOTANJ NA TERENU

Namen terenskega dela je bil preveriti potencialne lokacije nekdanjih odlagališč odpadkov v kotanjah, potrditi sum o odloženih in zasutih odpadkih ter preveriti rezultate geoinformacijskih metod. S travniki, njivami in gozdovi prekrte zasute gramoznice, suhe struge in vrtače so večinoma v zasebni lasti, zato si nismo mogli privoščiti kopanja pedoloških profilov ali vrtanja geoloških vrtin, ampak smo se odločili za neinvazivne oziroma manj invazivne metode. Pri razpoznavanju nekdanjih odlagališč odpadkov na terenu so nam zelo prav prišli spoznanja in izkušnje, ki smo jih že prej pridobili s terenskimi popisi v okviru raziskovalnih projektov evidentiranja vidnih divjih odlagališč odpadkov na vodovarstvenem območju Jarški prod (Smrekar s sodelavci, 2005) in na celotnem vodovarstvenem območju Mestne občine Ljubljana (Smrekar s sodelavci 2006). Na območjih neaktivnih odlagališč odpadkov, ki se vidno razlikujejo od aktivnih odlagališč, smo ugotavljali nekatere geomorfološke, pedogeografske in fitogeografske značilnosti pokrajine.

### 10.1 IZBOR METOD

Na terenu smo pregledali vse natančno določene lokacije in glede na nedegradirano okolico določili razlike v reliefu, prsti in rastlinstvu. Metode terenskega raziskovanja lahko razčlenimo v tri kategorije, ki se razlikujejo glede poseganja v prostor in nekaterih možnosti izvedbe:

1. Fitocenološki popis oziroma popis rastlinskih vrst:
  - metoda ne vključuje nobenega fizičnega poseganja v objekt in temelji na vizualnem določanju anomalij.
2. Merjenje električne upornosti tal predhodno določenih objektov:
  - minimalno poseganje v objekt (začasna namestitvev elektrodnih nosilcev v tla, do globine 30 cm);
  - metoda ni izvedljiva na območjih električnih daljnovodov, v bližini železniških tirov in tik ob večjih prometnicah;
  - gre za časovno in strokovno najbolj zahtevno metodo; v prvi fazi smo izbrali referenčno zasuto kotanjo, ki smo jo predhodno z vsemi geoinformacijskimi metodami potrdili v nekdanji in zdajšnji pokrajini.
3. Sondiranje prsti s pedološkim svedrom na predhodno določenih objektih:
  - v objekt se fizično posega, tako da se v globino naredi izvrtek premera okrog 7 cm, ki seže do matične podlage oziroma odpadkov;
  - metoda je izvedljiva za vse objekte, razen na fizično nedostopnih zemljiščih znotraj ograjenih območij, kakršna so vodovarstveno območje 0, ograjena vojaška območja in zasebna dvorišča;
  - metoda je bila na terenu temeljitje izvedena na vzorcu objektov.

### 10.2 POPIS RASTLINSKIH VRST

Za določitev območja zasute kotanje je treba vedeti, da znotraj zasute vrtače ali gramoznice uspevajo drugačne rastline kot v okolici, navezane tudi na vrsto odloženih odpadkov. Na podlagi fitocenološkega popisa znotraj in zunaj zasutega območja lahko sklepamo, ali so v zasuti kotanji odloženi odpadki, lahko pa določamo tudi njihov tip odpadkov, na primer odpadkov organskega izvora, kakršni so lesni odpadki iz proizvodnje, organski odpadki iz kmetijstva ali gospodinjstev. Vpliv razpadajočih organskih odpadkov je na terenu določljiv tudi, če so prekriti z do meter debelo plastjo zemljine, ki omogoča prenos hranljivih snovi, saj je krovna plast bogatejša s hranili oziroma evtrofna.

V okviru terenskega dela nismo kartirali habitatov, ampak smo z referenčnim fitocenološkim popisom določili indikatorske rastlinske vrste, ki v razmerju z okoliškimi izražajo določeno različnost rastnega območja. Indikatorske rastline so tudi pokazatelj nerazvitosti prsti, ki je značilna za zasute gramoznice ali vrtače, pri čemer so značilne lastnosti nerazvitost horizontov, slaba struktura, pomanjkanje humoznega horizonta. Rastlinske vrste smo popisali po Braun-Blanquetovi metodi francosko-švicarske oziroma žiriško-montpelierske šole.



Slika 39: Rastlinstvo v zasuti vrtači, kjer izstopajo evtrofne vrste s koprivo v sredini.

Kot vzorčni primer smo izbrali zasuto vrtačo sredi travnika. Na površini vrtače smo izdelali fitocenološki popis na 100 m<sup>2</sup> velikem kvadrantu in rezultate primerjali z rezultati fitocenološkega popisa enako velikega kvadranta zunaj vrtače, na nedegradiranem območju gojenega travnika. Fitocenološki ali floristični popisi dajejo dober vpogled v pestrost, razporeditev in ekologijo rastlin na določenem območju. Uporabili smo šeststopenjsko Braun-Blanquetovo lestvico (preglednica 4), v kateri vrednost 5 pomeni največjo pokrovnost in + izjemno majhno pokrovnost. Lestvica je kombinirana, saj združuje oceno obilnosti ali abundance ter pokrovnosti ali dominance.

Preglednica 4: Braun-Blanquetova lestvica za pokrovnost in številčnost rastlinskih vrst.

vrednosti za številčnost rastline		
opisna	odstotkovna	oznaka
rastlina je navzoča le z redkimi primerki	pod 1 %	+
rastlina je zelo redka	od 1 do 10 %	1
rastlina je redka	od 10 do 25 %	2
rastlina je srednje pogosta	od 25 do 50 %	3
rastlina je pogosta	od 50 do 75 %	4
rastlina je zelo pogosta	nad 75 %	5

Fitocenološki popis smo opravili 24. 5. 2012 v vzorčni vrtači in je temelj za nadaljnje fitogeografsko raziskovanje zasutih vrtač (preglednica 5).

Preglednica 5: Rezultati fitocenološkega popisa zasute vrtače in njegova primerjava s popisom v okolici.

latinsko ime rastline	slovensko ime rastline	oznaka po Braun-Blanquetovi lestvici		
		zasuta vrtača	gojeni travnik	synthesni opis
<i>Dactylis glomerata</i>	navadna pasja trava	3	2	
<i>Silene latifolia</i>	beli slizek	1	+	
<i>Arrhenatherum elatius</i>	visoka pahovka	1	4	
<i>Poa trivialis</i>	navadna latovka	1	1	
<i>Taraxacum officinale</i>	navadni regrat	1	1	rastline, popisane v zasuti vrtači in na travniku (N = 11)
<i>Bromus hordeaceus</i>	ječmenasta stoklasa	1	+	
<i>Ranunculus bulbosus</i>	gomoljasta zlatica	+	+	
<i>Achillea millefolium</i>	navadni rman	+	1	
<i>Allium sp.</i>	divja čebula	+	+	
<i>Plantago lanceolata</i>	ozkolistni trpotec	+	1	
<i>Galium mollugo</i>	navadna lakota	+	+	
<i>Urtica dioica</i>	velika kopriva	2		
<i>Rumex obtusifolius</i>	topolistna kislica	2		
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	navadni plešec	1		
<i>Cirsium arvense</i>	njivski osat	1		rastline, popisane samo v zasuti vrtači (N = 10) – INDIKATORSKE RASTLINE
<i>Ranunculus repens</i>	plazeča zlatica	1		
<i>Veronica polita</i>	gladki jetičnik	+		
<i>Vicia sepium</i>	obplotna graščica	+		
<i>Convolvulus arvensis</i>	njivski slak	+		
<i>Stellaria media</i>	navadna zvezdica	+		
<i>Daucus carota</i>	navadno korenje	+		
<i>Trifolium pratense</i>	črna detelja		2	
<i>Salvia pratensis</i>	travniška kadulja		1	
<i>Leucanthemum vulgare</i>	ivanjščica		1	
<i>Rumex acetosa</i>	navadna kislica		1	
<i>Ranunculus acris</i>	ripeča zlatica		1	
<i>Myosotis arvensis</i>	njivska spominčica		1	
<i>Holcus lanatus</i>	volnata medena trava		1	
<i>Cynosurus cristatus</i>	navadni pasji rep		+	
<i>Veronica arvensis</i>	poljski jetičnik		+	rastline, popisane samo na travniku (N = 19)
<i>Knautia arvensis</i>	njivsko grabljišče		+	
<i>Trisetum flavescens</i>	rumenkasti ovsenec		+	
<i>Bromus erectus</i>	pokončna stoklasa		+	
<i>Veronica chamaedrys</i>	vrednikov jetičnik		+	
<i>Anthriscus sylvestris</i>	gozdna krebujlica		+	
<i>Vicia sepium</i>	obplotna graščica		+	
<i>Tragopogon pratensis</i>	kozja brada		+	
<i>Ajuga reptans</i>	plazeči skrečnik		+	
<i>Cerastium holosteoides</i>	navadna smiljka		+	
<i>Lychnis flos-cuculi</i>	kukavičja lučca		+	



Podrobnejša analiza rastlinskih vrst na območju zasute sufozijske vrtače je pokazala, da se rastlinstvo na zasutih vrtačah opazno razlikuje od okoliškega travnega rastlinstva na gojenem travniku (preglednica 5). Na površju zasute vrtače uspevajo evtrofne rastline, ki jih v okolici ni. Tovrstne rastline so zelo dober pokazatelj povečanih hranil v zemljini, pojavijo pa se, kadar so pod njimi odloženi odpadki organskega izvora (lesni odpadki, odpadna hrana, kmetijski ostanki in podobno). Naziv evtrofne so dobile zato, ker so pokazatelj evtrofikacije, na primer nitrifikacije prsti. Mednje uvršamo koprive (*Urtica dioica*), razne vrste kislic (*Rumex acetosa*, *Rumex obtusifolia*), navadni plešec (*Capsella bursa-pastoris*) in druge. Na podlagi fitocenološkega popisa zasute vrtače in okoliškega gojenega travnika lahko sklepamo, da so v zasuti vrtači odloženi odpadki organskega izvora, ki so zasuti s plastjo zemljine. Iz razpadajočih odpadkov se še po mnogih letih sproščajo hranila (dušik), ki povzročajo evtrofikacijo prsti in posledično uspevanje evtrofnih rastlin, ki so tudi pokazatelj pregnojenosti. Na območju obravnavane vrtače smo izdelali tudi pedološki profil in dokazali organske odpadke na globini 1 m, ki so prekriti z ilovnatno plastjo.

### 10.3 ELEKTRIČNA UPORNOST TAL

V zadnjem desetletju so raziskave in spoznanja tako površinskih kot podzemeljskih kraških pojavov in procesov napredovala tudi zaradi uporabe geofizikalnih metod (Stepišnik s sodelavci 2007; Stepišnik in Mihevc 2008), med katerimi prevladujejo meritve električne upornosti tal (angleško *electrical resistivity imaging* / *ERI* oziroma *electrical resistivity tomography* / *ERT*). Metoda je neinvazivna. Z njo smo že leli potrditi sum o odloženih odpadkih v vrtači ali gramoznici, določiti globino odloženih odpadkov in debelino vrhnje plasti, ki prekriva odpadke. Z metodo električne upornosti se merijo tako robne kot navpične spremembe v električni upornosti podzemnih materialov. Pri tem se s pomočjo kablov in elektrod v tleh ustvari električno polje, tla pa delujejo kot upornik, da je krog sklenjen. Metoda električne upornosti je uporabna tam, kjer je mogoče zaznati izmerljiv kontrast med materiali v odlagališču in kamnino, ki ga obdajaja. Uporabna je tudi za zaznavanje izcednih vod iz odlagališč. Merjenje upornosti je torej uporabno za odlagališča, kjer se električna upornost oziroma prevodnost odloženega materiala znatno razlikuje od okoliških kamnin in nanosov.

Meritve smo izvajali z napravo *SuperSting*, ki jo sestavljajo upravljalna enota in pet kablov s po štiri elektrodami. Merimo tako, da elektrode položimo na kovinske kline, v podlago zabite na največ vsakih 5 m. Naprava omogoča enkratne ali zaporedne meritve vzdolžnih in prečnih prerezov. Meri električni tok (I) v oddajni elektrodi in sprejemnih elektrodah ter potencialno razliko (V) med dvema sprejemnima elektrodama. Meritev poteka tako, da naprava skozi eno od elektrod pošlje električni signal, ki ga druge zaznajo bolj ali manj pridušenega. Ker se postopek ponavlja, dokler signala ne oddajo vse elektrode, traja posamezna meritev od 15 do 25 minut. Uporabili smo tri metode, in sicer dipole-dipole metodo, Schlumbergerjevo metodo in Wennerjevo metodo. V predhodnih raziskavah se je kot najprimernejša se je izkazala Schlumbergerjeva, Wennerjeva je manj primerna zaradi prevelikega zaokroževanja podatkov, metoda dipole-dipole pa zaradi njihovega premajhnega zaokroževanja (Advanced Geoscience 2003a; Advanced Geoscience 2003b; Verbič in Gabrovec 2002, povzeto po Komac 2006b).

Pred meritvami je treba natančno načrtovati terensko delo, pri čemer določimo značilnosti preseka glede na zelene meritve. Globina penetracije (razdalja med prvo in zadnjo elektrodo) je običajno med 15 in 20 % od celotne dolžine profila. Če je torej zahtevana dolžina merjenega profila 40 metrov, potem je globina penetracije nekje med 6 in 8 metrov. Za spoznavanje velikosti objektov (prostorska ločljivost) je zelo pomemben razmik (angleško *spacing*) med posameznimi elektrodami. Velja pravilo, da ne moremo zaznati objektov, ki so manjši od polovice razmika med elektrodami. Če je torej razmik 2 metra, lahko teoretično zaznamo objekte, večje od 1 metra. Določitev lege in dolžine profila obsega tudi določitev razmika med elektrodami in postavitve kovinskih elektrodnih nosilcev, sond (40 cm dolge palice premera okrog 1 cm), ki jih zabijemo v podlago in nanje namestimo elektrode, ki naj bodo od 3 do 4 cm nad tlemi. Zemljo okrog elektrodnih nosilcev po potrebi namočimo z vodo, še najbolje s sla-



MATEJA BREG VALJAVEC

*Slika 40: Naprava za merjenje električne upornosti tal, povezana z električnimi kablji, elektrodami in akumulatorjem.*

no, da izboljšamo stik s podlago. Kadar podlago sestavljata pesek ali prod, imamo lahko pri vzpostavljanju dobrega stika s podlago težave. V takšnih primerih izkopljemo luknjo, ki jo zapolnimo z vodo in bentonitom (ali lokalnim blatom) ter vanjo namestimo elektrodni nosilec.

Preden izvedemo meritve z napravo Super Sting, izberemo tip ustreznega elektrodnega polja: dipole-dipole polje, Schlumberger ali Wenner. Polja se razlikujejo glede na način pošiljanja električnega toka v tla in sprejemanja. Določimo, kateri elektrodi bosta oddajali in kateri sprejemali, pa tudi kakšen bo vzorec, število ponovitev in druge spremenljivke, ki vplivajo na rezultat. Pri vsaki vrtači smo meritve izvedli z vsaj dvema metodama (Schlumberger in dipole-dipole), tako da smo lahko rezultate primerjali in bolje interpretirali profile.

Merjenje električne upornosti je razmeroma zanesljiva metoda, ki poleg potrditve odloženih odpadkov v kotanjah omogoča tudi določitev njihovih geometričnih značilnosti (globina, prostornina) in ponekod tudi vrste odloženih odpadkov glede na njihov izvor ter sestavo (odpadki organskega izvora, gradbeni odpadki, nevarni industrijski odpadki). Kljub veliki uporabnosti je metoda dokaj zamudna, predvsem v prvi fazi, to je pri fizičnem nameščanju (zabijanju) nosilcev elektrod v tla oziroma podlago, napeljevanju električnih kablov in postavljanju naprave. Za hitrejše testiranje rezultatov geoinformacijskih metod, ki bi zajelo čim več sumljivih objektov, najraje pa kar vse, je smiselno uporabiti neinvazivne metode ali hitreje izvedljive invazivne metode (pedološko sondiranje).

### 10.3.1 MERITVE ELEKTRIČNE UPORNOSTI V ZASUTI VRTAČI

Preučevana zasuta vrtača (slika 41) je na industrijsko degradiranem območju. Zaradi bližine tovarne KLI so vanjo odlagali tudi industrijske odpadke (lesni, galvanski in drugi nevarni odpadki). Na odpadkih



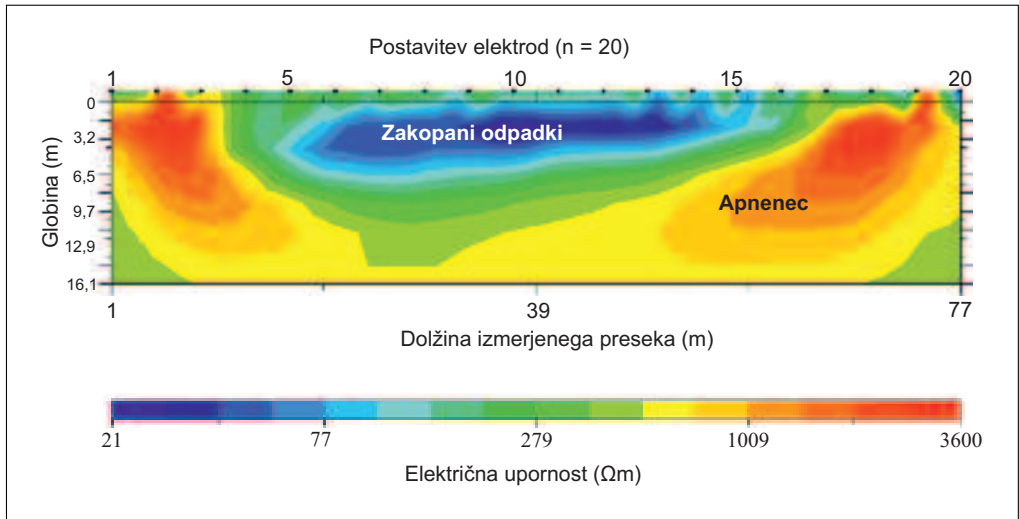
Slika 41: Lega zasute vrtače, kjer so bile izvedene meritve električne upornosti tal.

je opaziti ruderalno rastlinje in invazivne tujerodne vrste. Meritve na istem preseku smo izvedli z metodama Schlumberger in dipole-dipole ter z obema dokazali odložene odpadke v skledasto izoblikovani korozijski vrtači. Značilnosti preseka so bile:

- datum: 26. 4. 2012,
- dolžina: 76 m,
- število elektrod: 20,
- razmik: 4 m in
- uporabljeni metodi: Schlumberger in dipole-dipole.

Schlumbergerjev tip polja je najprimernejši za določanje nesprijetih sedimentov, kakršni so tudi odpadki. Metoda omogoča tudi natančno določitev izoblikovanosti nekdanje vrtače in količine odloženih odpadkov. Z grafičnim prikazom meritev (slika 42) smo določili odpadke, ki zapolnjujejo kotanjo v apnencu.

Grafični prikaz električne upornosti na preseku preučevane vrtače (slika 42) potrjuje rezultate 3R modeliranja, saj natančno prikaže vbočeno obliko nekdanje korozijske vrtače, izoblikovane v apnencu, ki ima z vrednostjo od 1000 do 3000  $\Omega\text{m}$ , odvisno od razpokanosti in navlaženosti kamnine, najvišjo upornost v celotnem preseku meritve (rdeča barva). Vrtača je do vrha zapolnjena z odpadki (modra barva), katerih upornost je bistveno nižja (od 2,1 do 80  $\Omega\text{m}$ ) od okoliških kamnin. Glede na neposredno bližino proizvodnega obrata KLI so izmerjene vrednosti lahko pokazatelj organskih lesnih odpadkov, ki so nastajali ob predelavi lesa v pohištvo. Najnižje upornosti, med 21  $\Omega\text{m}$  in 50  $\Omega\text{m}$ , ustrezajo mešanim organskim odpadkom, pomešanim z neorganskimi gradbenimi in industrijski odpadki. Podobne rezultate potrjujejo tudi predhodne študije (Georgaki s sodelavci 2008), ki vrednosti nad 50  $\Omega\text{m}$  pripisujejo mineraliziranim organskim odpadkom, pomešanim s komunalnimi ali gradbenimi odpadki. Pri meritvah je



Slika 42: Grafični prikaz električne upornosti tal na preseku skozi zasuto vrtačo (metoda Schlumberger).

treba upoštevati, da smo jih izvajali konec aprila, ki je bil precej deževen, zato se tla še niso povsem odcedila in posušila. Metoda električne upornosti namreč temelji na dejstvu, da ima suho gradivo večjo upornost, vlažno gradivo pa manjšo. Upošteva se povečano vlažnost tal domnevamo, da so tudi odpadki nasičeni s prenikajočo vodo in je zato njihova upornost višja, kot bi bila v bolj sušnih razmerah. Ker gre za korozijsko vrtačo v apnenecu, so na njenem dnu značilni ilovnati sedimenti (250 Ωm). Zaradi povečane vlažnosti domnevamo, da so bile tudi ilovice nekoliko manj prevodne in posledično vrednosti upornosti višje. Zaradi razgradnje odpadkov in delovanja naravnih dejavnikov nad odpadki nastaja antropogena prst, tako imenovani depozem, kar dokazujejo tanek vršni sloj z višjo upornostjo (400 Ωm), kakor tudi odpadki in pod njimi ležeča ilovica.

### 10.3.2 MERITVE ELEKTRIČNE UPORNOSTI V ZASUTI GRAMOZNICI

Vzorčna zasuta gramoznica (G42), na površini katere smo merili upornost tal, leži severno od Savelj, ob obvozni Nemški cesti. Od reke Save je oddaljena okrog kilometer. Tamkajšnja raba tal s travniki in njivami je tradicionalno agrarna. Srednje oglejene prsti so obrečne, nastale na prodno-peščeni naplavinini. Izbrana gramoznica je bila določena z vizualno fotointerpretacijo arhivskih posnetkov iz let 1959 in 1964 in tudi s 3R analizo arhivskih posnetkov na podlagi izdelanega DMP nekdanjega površja za leti 1959 in 1964. Z analizo slednjega smo določili, da je bila gramoznica globoka okrog 3 metre (glej tudi sliko 33). Ta zasuta gramoznica je določljiva tudi v reliefu zdajšnje pokrajine (slika 43). Teksturna analiza lasersko posnetega DMR razkriva grbinast relief. Značilnosti izmerjenega preseka so bile:

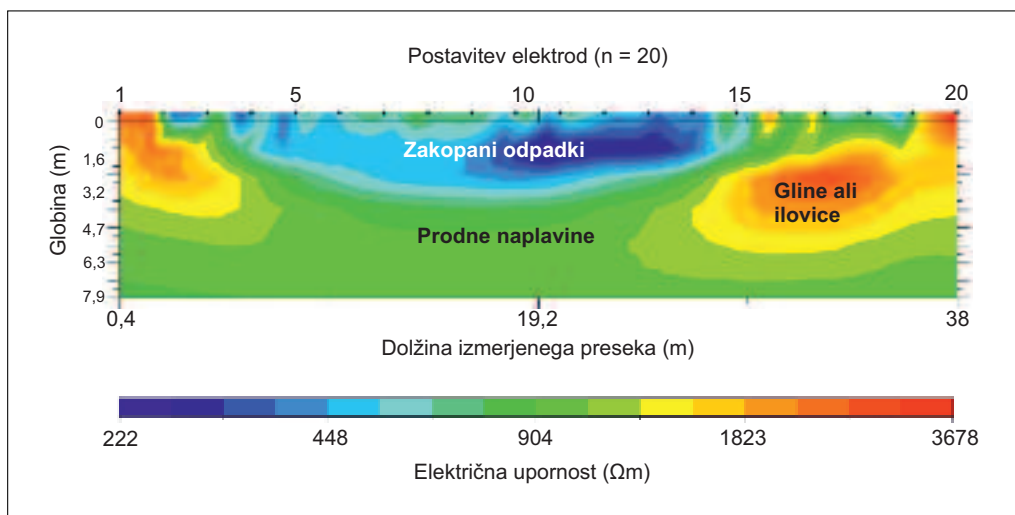
- datum: 23. 3. 2012
- dolžina preseka: 38 m,
- število elektrod: 20,
- razmik med elektrodami: 2 m in
- uporabljeni metodi: Schlumberger in dipole-dipole.

Presek električne upornosti tal kaže, da je obravnavano območje resnično zasuta gramoznica. Odpadki imajo v primerjavi z rezultati za odpadke v vrtačah na Logaškem polju (do 100 Ωm) precej visoko upornost (okrog 200 Ωm). Razlika je lahko bodisi posledica dejanskih razlik v vrsti odpadkov bodisi





Slika 43: Lega preseka glede na vzorčno gramoznico in prikaz njenega stanja v različnih podatkovnih virih.



Slika 44: Grafični prikaz električne upornosti tal na preseku z odpadki zasute gramoznice.

navlaženosti tal. Na Ljubljanskem polju smo namreč upornost merili sredi marca, po dolgotrajnem obdobju brez obilnejših padavin, ki je trajalo od jeseni 2011. Na Logaškem polju pa smo upornost merili konec aprila, ko so bila po celomesečnem deževnem obdobju tla zelo navlažena.

## 10.4 PEDOLOŠKO SONDIRANJE

Pedološko sondiranje je blaga invazivna metoda, ki na vzorčnem mestu v prsti ali na kmetijskem zemljišču ne povzroča večjih posledic. Omogoča hitro diagnosticiranje depozemov.

S pedološkim svedrom zavrtamo v tla od 25 do 30 cm globoko in najprej vizualno analiziramo izvr-tano gradivo (glej preglednico 1), čemur lahko sledijo še hitri terenski testi, kot je določitev pH vrednosti, in podrobnejše laboratorijske analize, s katerimi določimo poglobitve druge biokemijske značilnosti prsti, denimo vsebnost hranil, težkih kovin in drugih onesnaževal.

Za predstavitev metode smo izbrali gramoznico ob obvozni Nemški cesti na Ljubljanskem polju. S pedološkim sondiranjem smo zavrtali v tla na območju zasute gramoznice G42 (slika 43), kjer smo opravili tudi meritve električne upornosti tal. Nestrukturirano gradivo, v katerem prevladujejo nesprijeta zemljina in antropogeni delci (steklo, opeka, beton) je pokazatelj nenaravne prsti (slika 45). Referenčni profil KL3 (slika 46), s katerim smo ugotavljali značilnosti in tip prsti v širši okolici zasute gramoznice, smo izvrtali do globine 70 cm. Na tej globini smo naleteli na povečano količino prodnikov, ki so onemogočali poglobljanje vrtine. Do globine 30 cm je prst temnorjave barve in vsebuje velik delež organskih delcev. To je orn horizon, pod katerim je izprana plast, ki je občutno bolj peščena. Z oddaljevanjem od Save so na mlajših prodnih terasah prsti sicer še vedno plitve, vendar so že razvite rendzine in rjave prsti. Humozni horizon je sprsteninast in zelo rahel, skoraj sipek. Pridelovalna sposobnost teh prsti



MATEJA BREG VALJAVEC

Slika 45: Konica pedološkega svedra z delno razkrojenimi odpadki, izvrtanimi iz zemljine.



MATEJA BREG VALJAVEC

Slika 46: Do 70 cm globok referenčni profil KL3 z vidnimi plastmi, brez odpadkov.



je močno odvisna od količine proda; večji delež pomeni slabšo rodovitnost. Tovrstne prsti so za obdelovanje primerne že kmalu po dežju, saj se v njih voda hitro odcedi in ponikne. Glede na globino referenčnega profila KL3 (70 cm) so sondažni profili »prsti« na potencialnih gramoznicah opazno plitvejši, saj je njihova debelina le 30 cm.



MATEJA BREG VALJAVEC

Slika 47: 25 cm globok pedološki profil G42 s podlago iz gradbenih odpadkov na globini manj kot 10 cm.

## 11 RAZPRAVA IN SKLEPI

Nekdanja odlagališča odpadkov lahko določamo z geoinformacijskimi metodami, ki temeljijo na tri-razsežnostnih modelih reliefa in določanju reliefnih sprememb. Tezo smo dokazali z analizami reliefa nekdanje in zdajšnje pokrajine ter vizualno in kvantitativno primerjavo obeh površij. Določanje antropogenih reliefnih prvin oziroma reliefnih posledic, ki nastanejo z odlaganjem odpadkov v naravi, temelji na dobrem poznavanju ter razumevanju naravnih reliefnih oblik in procesov v določenem pokrajinskem tipu. Prav s tega vidika je vsako preučevano območje samosvoje.

### 11.1 UGOTOVITVE

**Reliefne posledice nekdanjega odlaganja odpadkov** obstajajo in so v obeh obravnavanih pokrajinskih tipih določljive, kar omogoča odkrivanje neznanih lokacij nekdanjih odlagališč odpadkov v kotanjah, kjer so odlagališča najpogostejša. Zaradi odlaganja odpadkov v vrtače je kraški relief bistveno bolj degradiran kot obrečni relief prodnih ravnin. Pri zasipavanju vrtač na Logaškem polju in Logaškem ravniku gre za trajno degradacijo, uničenje velikega števila naravnih kraških oblik in nevarnost onesnaženja kraške vode, medtem ko je na Ljubljanskem polju zasipavanje gramoznic v prvi vrsti vračanje reliefa v njegovo prvotno obliko. Z vidika reliefa bi lahko pokrajino z zasuto gramoznico označili za sanirano. Seveda so posledice vidnejše v drugih pokrajinskih sestavinah, bodisi v antropogeni prsti, imenovani depozem, bodisi v ruderalnem rastlinstvu, še najbolj pa v nenadnih onesnaženjih podtalnice iz večinoma neznanih virov onesnaženja.

Med raziskavo in natančnim preučevanjem reliefnih sprememb odlaganja odpadkov v sodobni pokrajini smo ugotovili, da so nekdanja odlagališča odpadkov na Ljubljanskem polju pogosta tudi v naravnih kotanjah, kakršne so suhe oziroma fosilne rečne struge, po katerih Sava ne teče več (slika 48). Gre za podolgovate vbočene reliefne oblike, ki jih v reliefu zaznamo kot znižanje nadmorske višine. Na visokoločljivostnih LiDAR modelih reliefa so zelo dobro razpoznavne. S prostim očesom jih zaznamo tudi na barvnem infrardečem posnetku prodne ravnine (slika 49), kjer sicer prevladujejo kmetijska zemljišča. Najbolje so sledljive na travnikih, in sicer v rdečih progah, ki označujejo območja povečane vlažnosti prsti in rastlinstva.

**Izhodiščno stanje vrtač in gramoznic** smo določili z analizo 3R modelov nekdanje pokrajine in dopolnili oziroma preverili z vizualno interpretacijo aeroposnetkov.

Gostota vrtač na Logaškem polju in Logaškem ravniku je zaradi ustrezne litološke sestave zelo velika; za leto 1972 smo ugotovili približno 1000 vrtač. Zdaj jih je veliko pozidanih, precej pa vsaj delno spremenjenih zaradi intenzivne kmetijske rabe tal.

Izhodiščno stanje gramoznic na manjšem testnem območju ob Nemški cesti vključuje 13 gramoznic, ki so bile na DMP1959 in DMP1964 določene z obema metodama in se prekrivajo (slika 32). Zaradi širjenja gramoznic in njihovega delnega zasipavanja v obdobju od 1959 do 1964 to število ni povsem zanesljivo. Rezultate je zagotovo treba preveriti še v sodobni pokrajini.

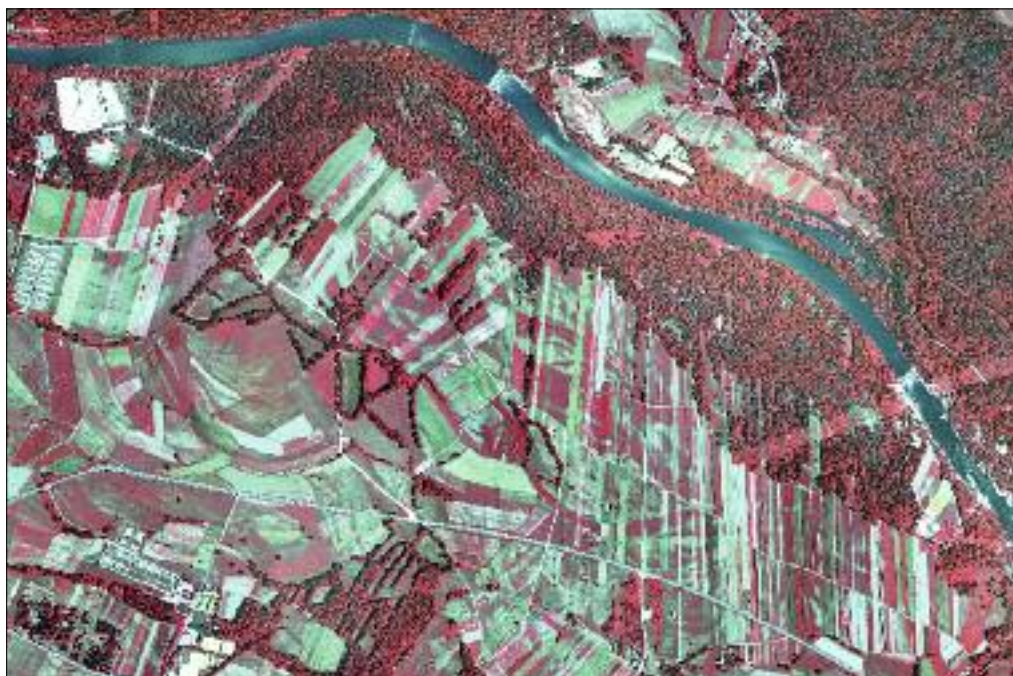
**Digitalni modeli nekdanje pokrajine** omogočajo določanje izhodiščnega stanja vrtač in gramoznic ter primerjavo s sodobnim stanjem. Pri tej metodi je poseben izziv izdelava digitalnega modela reliefa nekdanje pokrajine s fotogrametrično stereoobdelavo arhivskih aeroposnetkov, imenovano stereoizvrednotenje aeroposnetkov. Rezultat je odvisen od kakovosti in ohranjenosti filma oziroma kontaktnih kopij posnetka, kakovosti digitalizacije (skeniranja), strokovnosti izvedene aerotriangulacije, interpolacije in nenazadnje od izdelovalca. Glavni vir posnetkov za Slovenijo so ciklična aerosnemanja (CAS) in posebna aerosnemanja (PAS). **Ciklična aerosnemanja** potekajo od leta 1975 dalje. Ker pokrivajo območje celotne države, lahko na izbranih območjih delamo časovne primerjave, kot tudi primerjave med različnimi območji v istem letu. Če pojavi, ki jih preučujemo, segajo pred leto 1975, je treba pregledati posnetke **posebnih aerosnemanj**. Izvajajo se za večje posege v prostor in potekajo od sredine petdesetih let prejšnjega stoletja dalje. Njihova slabost je, da pokrivajo le manjša območja, vezana na posamezen





ALEŠ SMREKAR

Slika 48: Pogled iz balona na suhe struge Ljubljanskega polja.



Slika 49: Na barvnem infrardečem posnetku (GURS 2006) so suhe struge sledljive v rdečih progah, ki označujejo območja povečane vlažnosti prsti in rastlinstva.

projekt, na primer PAS 1972 na območju Logatca za izgradnjo avtoceste Vrhnika–Postojna (© GURS 1972). Zaradi tega smo pri analizi nekdanjih odlagališč odpadkov omejeni samo na leta aerosnemanj. Ker so infrastrukturni projekti povzročili tudi izkopavanje proda v neposredni bližini (severna obvoznica v Ljubljani, obvozna Nemška cesta, ki je bila prej trasa železnice, zgrajene med 2. svetovno vojno) oziroma zasipavanje vrtač z gradbeno jalovino (v Logatcu Južna železnica, avtocesta, plinovod), so ti posnetki pomemben vir za preučevanje nekdanjih odlagališč odpadkov. Za določena območja Slovenije, na primer območja ob Južni železnici, obstajajo tudi zelo kakovostni medvojni (1943–1944) vojaški aeroposnetki. Uporaba metrične kamere in fotogrametričnih metod v aerosnemanjih, ki jih je izvajalo angleško kraljevo letalstvo (*Royal airforce / RAF*), omogoča iz takratnih stereoposnetkov izdelavo trirazsežnostnih modelov nekdanje pokrajine. Posnetki so shranjeni v arhivu *Royal Commission on the Ancient and Historical Monuments of Scotland (RCAHMS)* iz Edinburga na Škotskem.

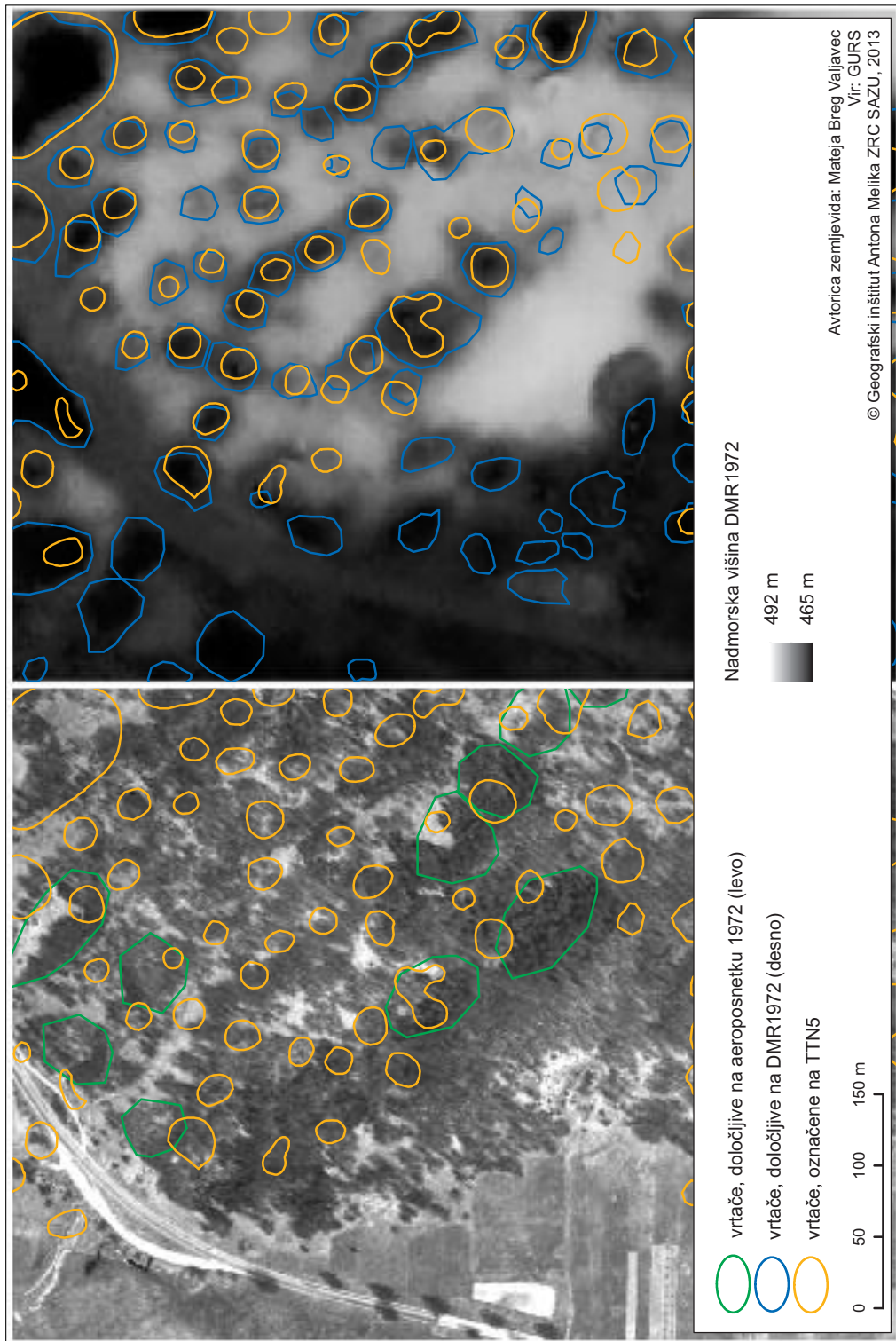
**Kontrola rezultatov določanja kotanj** je možna neposredno z vizualno aerofotointerpretacijo arhivskih posnetkov ali s pomočjo starih topografskih kart v merilu 1 : 5000 (TTN5) in 1 : 25.000, ki so lahko ustrezen vir višinskih podatkov za celotno Slovenijo. Ker je izdelava TTN5 Slovenije potekala zelo dolgo, naletimo tudi na zemljevide, ki temeljijo na topografski izmeri iz sedemdesetih let 20. stoletja, kot je to v primeru Logaškega polja. Na TTN5 so vrtače označene zelo natančno, za določanje gramoznic, predvsem manjših, pa TTN5 ni ustrezen, saj so označene samo največje gramoznice. Za kontrolo in dopolnjevanje podatkov o vrtačah na Logaškem polju je bila smiselna tudi izdelava DMR iz plastnic TTN5, saj so te za preučevanje območje na razpolago za leta 1974, 1981, 1986 in 1987, kar omogoča časovno primerjavo. Ta način je precej hitrejši in neprimerno manj zahteven kakor izdelava DMR ali vsaj DMP iz arhivskih stereoposnetkov. Pri fotogrametrični stereoozbdelavi posnetkov so največji problem manjši podatki o notranji orientaciji slik (kalibracijsko poročilo kamere), kar gre pripisati starosti podatkov, dolgotrajnem arhiviranju in navsezadnje tudi številnim selitvam gradiva zaradi menjavanja upravljavcev arhiva aeroposnetkov. Novejši fotogrametrični programi imajo vgrajene module in algoritme, zato se ta ovira ne pojavlja več. Glavna prednost arhivskih aeroposnetkov pred razpoložljivimi topografskimi kartami je kombinacija dveh metod, to je vizualne interpretacije slike in interpretacije iz nje izdelanega digitalnega modela reliefa.

Pri vizualni aerofotointerpretaciji je treba izpostaviti problematiko določanja meje in oblike vrtač. Problemi, ki se pri tem pojavljajo, niso posledica napak v georeferenciranju, saj so referenčni objekti na istih lokacijah (križišča, stavbe in podobno) oziroma se pokrivajo. Zaradi posplošene metodologije določanja vrtač (po zgornji izohipsi) na TTN 5 so te večinoma dosti manjše ali združene v eno dvojno vrtačo. Z združitvijo poligonov smo tako obdržali vse informacije in zajeli vse potencialne vrtače. Določanje vrtač v gozdu (slika 50) na aeroposnetkih je skoraj nemogoča, medtem ko se rezultati analize DMR1972 v znatni meri ujemajo z vrtačami, izrisanimi na sočasnem TTN5.

Kljub temu ugotavljamo, da je fotogrametrični DMP1972 primeren za preučevanje vrtač in zasutih vrtač. Z vidika metode izdelave fotogrametričnega modela reliefa so šibka točka zagotovo gozdnata območja, saj je na njih težavno določiti ustrezne in dovolj natančne oslonilne točke.

Izhodiščno stanje gramoznic smo določili za leti 1959 in 1964. Z analizo DMR-jev smo jim določili lego, obliko in globino. Rezultate smo preverili z vizualno aerofotointerpretacijo. Ugotavljamo, da aktivne gramoznice, kjer se je izkopaval karbonatni prod, močno odbijajo svetlobo, zato je lahko gramoznica na črno-belem posnetku povsem bele barve in ne moremo določiti njene teksture. To pomeni zelo homogeno območje, znotraj katerega težko najdemo točke, ki bi jih lahko zaznali z metodo ujemanja slik (angleško *image matching*), na podlagi katere poteka določanje nadmorskih višin za tiste točke, ki se pojavljajo na dveh ali več prekrivajočih se stereoposnetkih. Če je tekstura gramoznice bolj heterogena kot je to pri vrtačah, obstaja teoretično več točk ujemanja na obeh posnetkih in a tem možnost natančnejše določitve gramoznice. Podoben odboj kot aktivne gramoznice ima tudi uravnano ali izbočeno površje,

*Slika 50: Določanje izhodiščnega stanja vrtač na območju gozda glede na uporabljeno metodo in razpoložljive podatke. ►*



prekrito s peskom ali gramozom, (na primer neurejene odprte površine ali parkirišča, pri katerih je ločevalna prvina oblika), ki ga z vizualno interpretacijo lahko označimo za gramoznico. Gramoznice, v katerih so prenehali izkopavati gramoz in so v fazi samodejnega zaraščanja, imajo precej slabši odboj in se zlahka zlijejo z okolico. Takšne primere gramoznic samo z vizualno analizo pogosto spregledamo, saj smo osredotočeni na iskanje belih območij. Spregledamo jih lahko tudi z vizualno stereointerpretacijo, zato je kot dopolnilni podatkovna baza zelo pomembna izdelava DMR-ja. Z analizo DMR-ja lahko objekt natančneje omejimo ter določimo njegovo globino in druge značilnosti.

Na sliki 51 je isto območje predstavljeno na arhivskih letalskih posnetkih iz leta 1959 (zgoraj) in na njihovi podlagi izdelanem trirazsežnostnem modelu površja (spodaj). Na DOF-u lahko s prostim očesom zaznamo le aktivne oziroma nezaraščene gramoznice, medtem ko na 3R modelu zaznamo tudi zaraščene. Tako sta na spodnjem DMR-ju zaznavni gramoznici, ki ju na DOF-u ni. Po sredini obeh slik poteka nasip nekdanje trase nemške železnice, ki ga prav tako bolje zaznamo na 3R modelu. Primerjava rezultatov za leti 1959 in 1964 je podana na sliki 32. Nekatere potencialne gramoznice so bile določene bodisi samo na DOF-u bodisi samo na 3R modelu, precej pa jih je bilo določenih z obema analizama. Te zadnje lahko potrdimo z veliko gotovostjo, medtem ko je pri prvih potrebna dopolnilna analiza 3R modelov sodobne pokrajine, pa tudi terenske meritve.

Vizualna interpretacija brez upoštevanja stereoučinka pri določanju gramoznic ne zadošča, ker zaradi podobnih odbojnih vrednosti za gramoznice in odprte površine, kakršne so na primer makadamska parkirišča in gradbišča, prihaja do napak. Pri interpretaciji reliefne kotanje se napaka lahko pojavi, če na primer zamenjamo gramoznico in gradbeno jamo. Čeprav naj bi se razlikovali po obliki, ni nujno, da to povsem drži. Na posnetkih iz leta 1959 so številni manjši zemeljski izkopi na območju Roj vezani na zemljiško parcelacijo oziroma posamezne parcele, zato imajo pogosto obliko pravokotnika. Analiza rabe tal na mlajših posnetkih je pokazala, ali gre lahko tako za gradbene jame (pozidana zemljišča) kot za gramoznice (nepozidana zemljišča). Pridobivanje ostalih vsebinskih podatkov, na primer o površini, globini, prostornini, je nedvomno natančnejše in bolj smiselno s kvantitativnimi metodami, ki temeljijo na 3R modelih nekdanje pokrajine in njihovi primerjavi s sodobnim stanjem pokrajine.

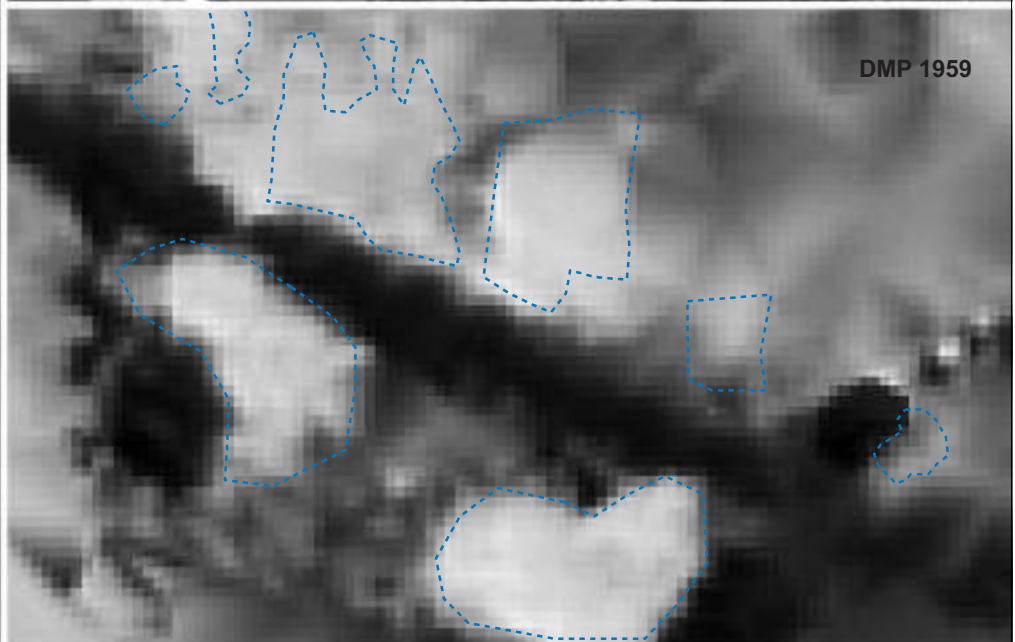
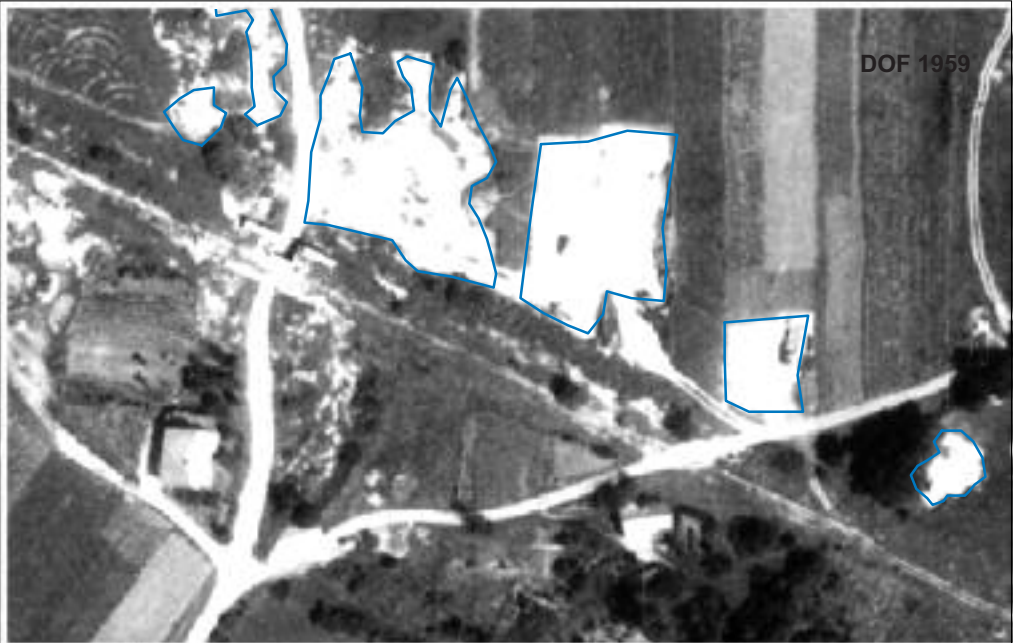
Opisana 3R metoda omogoča natančno tridimenzionalno določitev lege, oblike in globine vbočenih objektov. Izvedba in rezultati 3R metode so v veliki meri odvisni od kakovosti izdelanih 3R modelov nekdanjega površja. Za to potrebujemo kakovostne arhivske aeroposnetke. Ko jih pridobimo večje število, navadno ugotovimo, da so zelo različne kakovosti, med posameznimi leti težje primerljivi, za določena ključna leta pa jih morda sploh ni možno dobiti. Na podlagi teh aeroposnetkov si moramo trirazsežnostne podatke pripraviti sami, to pomeni, da moramo izdelati DMV, DMP in DMR. Vendar pa tudi s to metodo ne moremo določiti vrste zasipnega materiala. Kakovost rezultatov je odvisna od rabe tal, pri čemer je težavna določljivost manjših objektov, še zlasti tistih v gozdu. Metoda je v primerjavi z analizo sodobnega površja časovno izjemno potratna.



Nekdanja odlagališča v gramoznicah sodobne pokrajine smo določali z LiDAR DMR.

**Napovedovalno geomorfometrično modeliranje** temelji na LiDAR reliefnih podatkih. Ker ti za celotno Slovenijo niso na razpolago, smo metodo izdelali le na podlagi značilnosti fluvialnega reliefa aluvialne ravnine. Fluvialni relief je, poleg geološke zgradbe in podnebja, bistveni hidrogeografski in pedogeografski dejavnik, zato obstajajo določljive povezave med reliefnimi oblikami, potekom vodotokov in značilnostmi prsti. Ena od pomembnih značilnosti je globina prsti. Na pobočjih so prsti zaradi odnašanja prepereline tanjše kakor na dnu dolin, kjer se gradivo kopiči. Suhe struge so rahlo vbočene reliefne oblike, v katerih se zaradi denudacije zbira preperina in sčasoma razvijejo globlje ilovnate prsti, ki imajo večjo sposobnost zadrževanja vlage kot plitve prsti zunaj njih. Z območji gramoznic, ki so bile določene z geoinformacijskimi metodami nekdanje in zdajšnje pokrajine, sovpadajo **območja visokega reliefnega potenciala**, ki so glavni cilj modeliranja. Model je primeren za določanje zasu-

*Slika 51: Razpoznavnost gramoznic leta 1959 na aeroposnetkih (zgoraj) in na iz njih izdelanem 3R modelu (spodaj).* ►





-  gramoznice na DOF-u (zgoraj)
-  gramoznice na DMP (spodaj)

Nadmorska višina DMP

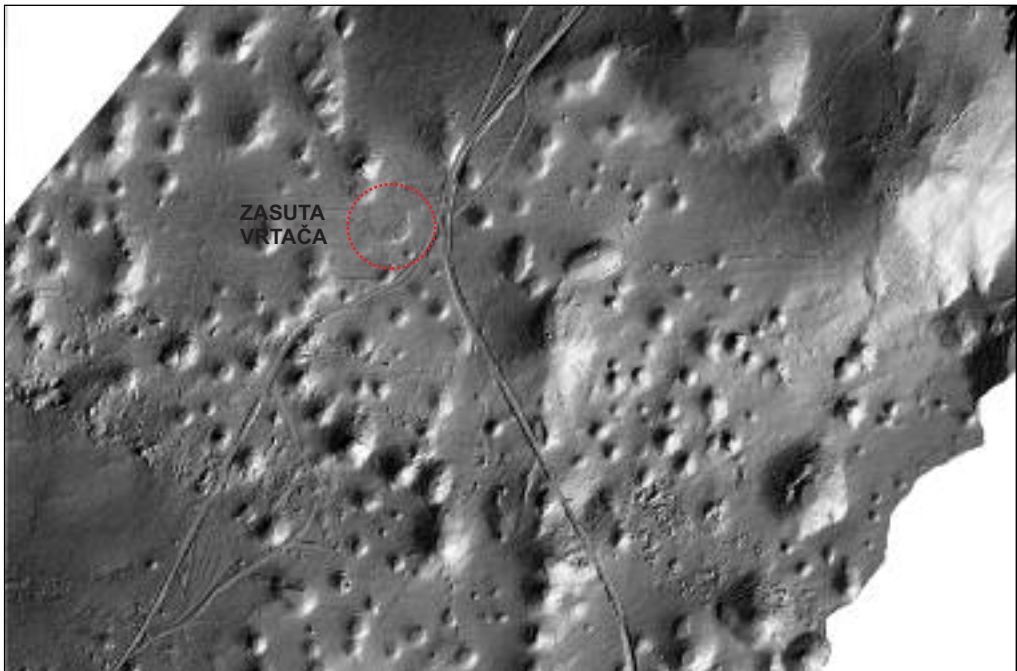


Avtorica zemljevida: Mateja Breg Valjavec  
Vir: GURS



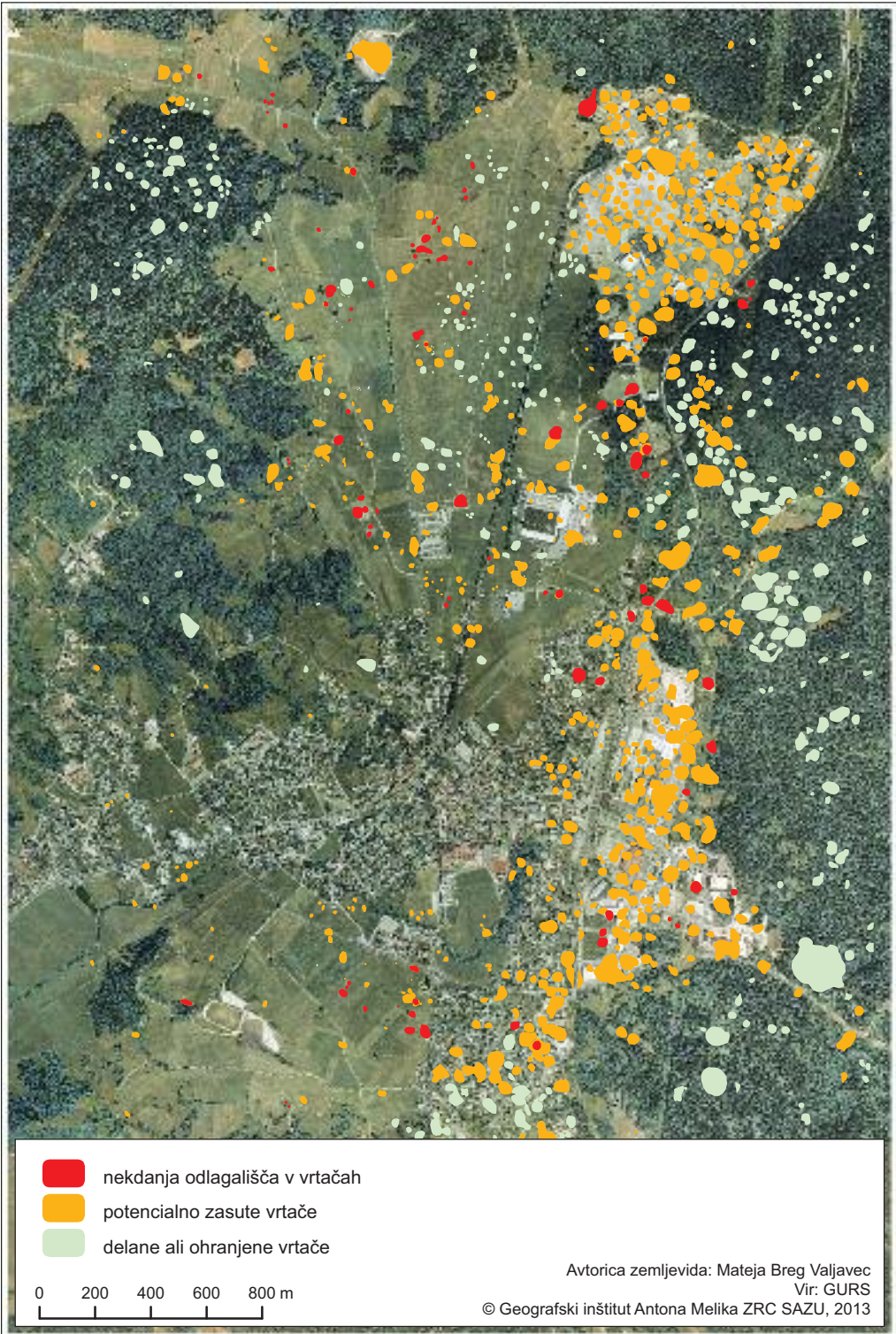
© Geografski inštitut Antona melika ZRC SAZU, 2013

tih gramoznic z grbastim uravnanim ali rahlo izbočenim površjem. Vbočene gramoznice, med katere spadajo delno zasute in nezasute gramoznice, iz analize nekdanjih odlagališč odpadkov z modeliranjem izločimo in s tem zmanjšamo število podatkov. Nekdanja odlagališča odpadkov, ki smo jih potrdili s terenskimi metodami, se ujemajo z območji visokega reliefnega potenciala. Metoda reliefnega modeliranja v kombinaciji z vizualizacijo reliefa omogoča samostojno določanje nekdanjih odlagališč odpadkov, saj se z njo zelo natančno določijo lega in oblika ter prostorska razširjenost oziroma horizontalna omejitev objekta. V primerjavi z analizo nekdanjega površja je neprimerljivo hitrejša. Pri tem so pomembna omejitev LiDAR podatki, ki ne obstajajo za celotno Slovenijo in so še vedno zelo dragi. Podatki za nekatera območja so dostopni brezplačno, tudi za slovensko Istro in Dravsko polje. Problem uporabnosti te metode so tudi z gozdom pokrita območja, ki imajo zelo visok reliefni potencial. Človek v gozdu ne posega v tla in jih drugače kot pri obdelovalnih kmetijskih zemljišč in urbano rabo tal ne preoblikuje. Relief pod gozdom se z laserskim skeniranjem zaznava kot grbasto površje, ki je značilno tudi za povsem zasute gramoznice. Tovrstno podobnost presežemo tako, da s pomočjo ortofota in LiDAR vegetacijskega sloja na kritični lokaciji določimo gostoto in višino dreves. Če so drevesa visoka, je to pokazatelj, da uspevajo na statično stabilni matični podlagi in naravnih prsteh, kar jim omogoča stabilno rast. Na območjih zasutih gramoznic uspeva nižje drevje grmovne rasti, saj mu nerazvite prsti in nehomogena matična podlaga, sestavljena iz odpadkov, ne zagotavljajo statične stabilnosti. S to metodo pa ne moremo določiti obdobja nastanka objekta, časa izkopavanja gradiva in časa zasipavanja niti vrste zasipnega materiala. Zaradi zelo visoke prostorske ločljivosti so LiDAR podatki zelo zahtevni za obdelavo, saj zahtevajo izjemno zmogljivo strojno in programsko opremo. Metoda je neuporabna tudi



Slika 52: Zasuta vrtača, kot jo lahko zaznamo na LiDAR digitalnem modelu reliefa, ki je prikazan z analitičnim senčenjem reliefa.

Slika 53: Kataster nekdanjih odlagališč odpadkov v vrtačah in prikaz ohranjenih vrtač na Logaškem polju in Logaškem ravniku. ►





za pozidana zemljišča. Glede na hidrogeomorfološka izhodišča, na katerih temelji metoda reliefnega modeliranja in določanja nekdanjih odlagališč odpadkov, pa je metoda uporabna za določanje preučevanega pojava na podobnih tipih fluvialnega reliefa, torej na aluvialnih prodnatih ali ilovnatih ravninah. V Sloveniji so takšne ravnine ob večjih rekah Savi, Savinji, Dravi in Muri, kjer so ohranjene suhe struge. Gre za Kranjsko-Sorško polje, Kamniškobistriško ravan, Krško-Brežiško polje, Spodnjo Savinjsko dolino, Dravsko-Ptujsko polje, Ormoško dobrovo in Mursko ravan.

Za razpoznavanje zasutih gramoznic na območjih kmetijske rabe tal (travniki, njive) in na odprtih zemljiščih brez pomembnega rastlinskega pokrova je primerna metoda napovedovalnega geomorfometričnega modeliranja. Antropogena stopnja reliefnega preoblikovanja pri kmetijski in urbani rabi tal omogoča dobro prepoznavanje naravnih reliefnih značilnosti in tudi reliefnih anomalij zaradi odlaganja odpadkov v gramoznice in suhe struge, katerih skupna značilnost je izbočena oblika. Mikroreliefna izoblikovanost gozdnih tal na uravnani prodni ravnini in prodiščih je povsem ohranjena in se kaže v neuravnanim, antropogeno nepreoblikovanem grbastem površju. Podobne mikroreliefne značilnosti imajo območja zaraščanja, ekstenzivne kmetijske rabe tal, kjer se niti ne orje niti kosi, pa tudi z odpadki zasute gramoznice, ki jih niso sanirali z odstranitvijo odpadkov ali s prekritjem z debelim slojem prsti. Geomorfometrično modeliranje je mogoče tudi na kraških območjih, za določanje zasutih vrtač. Skladno z reliefnimi in hidrogeografskimi izhodišči bi bilo treba določiti geomorfometrične parametre, na podlagi katerih bi določili območja z visokim reliefnim potencialom, značilnim za zasute vrtače. Območja, kjer bi lahko preizkusili modeliranje kraškega reliefa, so kraška polja z aluvialnimi vrtačami in kraški ravniki, kjer prevladuje podzemni vodni odtok.

Zaradi omejenega dostopa do LiDAR podatkov smo pri izdelavi katastra na Logaškem polju 3R koncept usmerili v fotogrametrično stereooddelavo arhivskih aeroposnetkov. Zasute vrtače smo določali na podlagi reliefnih sprememb med letoma 1972 in 2006, pri čemer smo primerjali DMR1972 in DMV5. Za zasute vrtače smo opredelili 566 objektov. Podatke smo dopolnili z informacijami, ki smo jih dobili z anketiranjem domačinov leta 2007. Na podlagi tega smo nekdanja odlagališča odpadkov pripisali 92 zasutim vrtačam (slika 53). Območja v katastru zabeleženih vrtač smo preverili na terenu in pri nekaterih dopolnili s terenskimi meritvami upornosti tal, pedološkim sondiranjem in popisom rastlinskih vrst. Še bolj zanesljive rezultate o zasutosti vrtač bi dobili z dodatno analizo zdajšnje pokrajine z LiDAR digitalnim modelom reliefa (slika 52) in podrobnejšim terenskim raziskovanjem.

Na preučevanem območju Logaškega polja le stežka najdemo vrtačo, ki ne bi bila vsaj malo zasuta, saj so že tako imenovane delane vrtače v precejšnji meri prilagojene kmetijski rabi. Tamkajšnje zasute vrtače se razlikujejo po vrsti zasipnega materiala, ki se praviloma razlikuje od krovne plasti, uporabljene za »sanacijo«, če lahko tako rečemo prekritju odpadkov s slojem inertnih odpadkov (zemljina, gradbeni odpadki, izkopni material gradbenih jam, dolomitna jalovina iz kamnoloma) z namenom omogočanja ali olajšanja strojne obdelave ter izboljšanja rodovitnosti kmetijskih zemljišč v okviru agromelioracij. Ta vrhnja plast je pogosto, še posebno v primerih zasutja sufozijskih vrtač, zelo debela (tudi 1 m), zato je le s težavo mogoče prodreti do spodaj ležečih odpadkov. Sufozijske vrtače na Pustem polju so na najkakovostnejših obdelovalnih zemljiščih Logaškega polja. Skladno s tem so bile zasute z odpadki in prekrite z zemljino ali ilovnatim sedimentom, kar omogoča nadaljnjo njivsko rabo. Precej je tudi manjših zasutih grezov.

Skladno z ugotovitvami reliefnih analiz in terenskih raziskav izpostavljamo tri glavne značilnosti za razvrščanje zasutih vrtač na Logaškem polju:

1. **Vrsta prekrivnega materiala**, ki je v krovni plasti določljiva s pedološkim sondiranjem na terenu:
  - **mešani odpadki** (komunalni, industrijski),
  - **ilovnata zemljina** ali ilovnat sediment, s katerim so najpogosteje zasute sufozijske vrtače na Pustem polju, ki so bile »sanirane« z agromelioracijami v osemdesetih letih prejšnjega stoletja (na primer vrtača na sliki 39),
  - **dolomitna jalovina** iz kamnolomov dolomita Smolevc ali na Skirci, opazna na vrtačah na Brojskem polju (na primer zasuta vrtača na sliki 2),



- **inertni gradbeni odpadki**, s katerimi so zasipavali korozijske vrtače v gozdni okolici Logatca,
  - **permokarbonski skrilavi glinavci**, ki smo jih ugotovili v vrtači na zahodnem robu Logaškega polja, na prehodu v dolomit (na primer zasuta vrtača na sliki 1).
2. **Navzočnost indikatorskih rastlinskih vrst**, ki so pokazatelj za odstopanje od okoliškega rastlinstva:
- **pionirske (ruderalne) vrste**, kot so različni mahovi in regrat (*Taraxacum officinale*), so pokazatelj nerazvitosti prsti, ki se kaže v odsotnosti humoznega horizonta na vrhu,
  - **evtrofne vrste**, kot so koprive (*Utrica doica*), kislice (*Rumex acetosa*, *Rumex obtusifolia*) in bele kobulnice, so pokazatelj povišane vsebnosti hranil v zemljini, ki so posledica razpadajočih organskih odpadkov,
  - **invazivne vrste**.
3. **Vrsta odloženih oziroma zakopanih odpadkov:**
- **odpadki organskega izvora**, ki si količinsko sledijo takole:
    - industrijski organski odpadki, večinoma lesni odpadki iz podjetij Valkarton in KLI,
    - komunalni oziroma gospodinjski organski odpadki,
    - kmetijski organski odpadki in
    - prometni organski odpadki v obliki izgorkov iz parnih lokomotiv, ki so tudi najstarejši.
  - **strupeni odpadki:**
    - industrijski nevarni odpadki iz podjetij, denimo galvanski mulji iz nekdanje galvane podjetja KLI,
    - gospodinjski nevarni odpadki, na primer baterije in akumulatorji, ter
    - kmetijski nevarni odpadki, na primer embalaža in ostanki fitofarmaceutskih sredstev za varstvo rastlin.
  - **inertni odpadki:**
    - gradbeni odpadki mineralnega izvora, na primer beton, opeka, asfalt.

Antropogeno preoblikovane vrtače na Logaškem polju lahko glede na predstavljena merila in stopnjo antropogene degradacije razdelimo v naslednje skupine:

**1. Agrarno preoblikovane vrtače** (slika 54) so v nekaterih primerih delno zasute vrtače, kjer ni suma o odloženih odpadkih. S primerjalno analizo so bile opredeljene kot zasute vrtače, saj so se v njih med letoma 1972 in 2006 pojavile reliefne spremembe, večje od 1 m. Spremembe so lahko že zelo stare, zato jih tudi z analizo povojnih modelov reliefa ni vedno mogoče ugotoviti. Pedološki profili delno zasutih vrtač kažejo na agrarno rabo. Zanje je značilno, da so na dnu vrtače nasipavali zemljo, s čimer so povečali globino prsti in obdelovalno površino ter na dnu vrtače omogočili strojno obdelavo. Takšne vrtače smo preučevali na območjih močno zakraselih apnencev na vzhodnem robu polja in dolomita v zahodnem delu polja. Teh vrtač nikoli niso zasipavali z odpadki, kar dokazujejo pedološki profili, v katerih se reliktni humozni horizont pojavlja na globini 0,5 metra (slika 55). Domnevamo, da so bila v okviru agromelioracij dna teh vrtač delno prekrita z alohtono zemljino. Za gojeni travnik značilno rastlinstvo je v prehodni fazi, odvisno od trajanja opustitve njive. Za natančnejše ugotovitve bi bile potrebne nadaljnje fitogeografske raziskave, s katerimi bi določali **indikatorske rastline**, ki nakazujejo povečano vsebnost hranil v zemlji. Najpogostejša zemljiška raba na agrarno preoblikovanih vrtačah so njive in travniki.

**2. Z odpadki zasute vrtače z rodovitnim pokrovom**, pri katerih je najpogostejši prekrivni material, ki omogoča kmetovanje, naravna ilovnata naplavina oziroma alohtona zemljina. Vrtače so lahko deloma ali popolnoma zapolnjene in izravnane z okolico, zato jih je včasih težko razlikovati od agrarnih vrtač. Na Logaškem polju smo takšen tip vrtač preučevali na kmetijskih zemljiščih na Pustem polju, okrog tovarne Valkarton in v smeri Lipja. Gre za majhne do srednje velike sufozijske vrtače. Od agrarnih vrtač se razlikujejo po odloženih organskih, inertnih ali strupenih odpadkih, katerih navzočnost smo ugotavljali s terenskim raziskovanjem indikatorskih rastlin na površju vrtače (slika 49).

**3. Z odpadki zasute vrtače z nerodovitnim pokrovom**, pri katerih so najpogostejši prekrivni materiali dolomitna jalovina, permokarbonski skrilavi glinavci, apnenčasti material ali inertni gradbeni odpadki



MATEJA BREG VALJAVEC

Slika 54: Delno zasuta agrarno preoblikovana vrtača.

(beton, opeka in podobno). Zaradi trde krovne plasti je pedološko sondiranje globljih plasti, ki bi lahko razkrilo vrsto spodaj ležečih odpadkov, skoraj nemogoče. Takšne vrtače so na Brojskem in Pustem polju ter na vzhodnem robu Logaškega polja, ki tam prehaja v zakrasele apnenice. Brojsko polje je poplavno območje, zato v njegovem večjem delu prevladujejo travniki. Skladno s tem ga za strojno obdelavo kmetijskih zemljišč ni bilo treba izboljševati. Že Bricelj (1988) je ugotavljal, da so na apnenčastem in dolomitnem obrobju v vrtače odlagali industrijske in komunalne odpadke, ki so jih zasuli z gradbenimi odpadki ali dolomitno jalovino. Te vrtače niso imele pomembne agrarne vloge in ker so bile tudi bolj oddaljene od naselja, so bile najbolj izpostavljene zasipavanju z nevarnimi industrijskimi odpadki. Vegetacijski odziv se kaže v navzočnosti večje količine pionirskih rastlinskih vrst na travniških območjih (slika 56). Lep primer je izstopajoča gostota regrata (*Taraxacum officinale*) na območju zasutja (glej naslovnico). Regrat ima namreč raje kot visoko kakovostna naravna okolja odprta območja, v katera je posegel človek. Dodaten pokazatelj so na površini obdelanih njiv opazni večji kosi gradbenega materiala. Značilen primer je vrtača, ki je bila do leta 1979 komunalno odlagališče Dolenjega Logatca, zdaj pa je kot »sanirano zemljišče« tamkaj njiva.

**4. Z odpadki zasute vrtače brez mineralnega pokrova** so vrtače, zasute z različnimi komunalnimi in industrijskimi odpadki, vendar niso bile prekrite z mineralnim pokrovom. Rastlinstvo se je sukcesivno razvilo kar na odpadkih (vrtača na sliki 41). Tudi zanje so poleg pedoloških analiz dober pokazatelj evτροφne, ruderalne in invazivne rastline, ki poraščajo površje zasute vrtače in jih v okolici ne najdemo.

Pri uničevanju vrtač je pomembno opredeliti tudi gospodarsko, v glavnem poljedelsko vlogo vrtač, ki se razlikuje glede na tip vrtače, njihove značilnosti, tip gostujoče kamnine in druge okoliščine. Korozij-



Slika 55: Reliktne humozne horizontne na globini od 60 do 80 cm.

ske vrtače so v apnencih. Prst na dnu vrtače je neprimerno debelejša od plitvih rendzin ali pokarbonatnih prsti na obodnem apnencu in v bližnji okolici. Če vrtačo zasujemo z odpadki, izgubimo kakovostno kmetijsko zemljišče v njej. Korozijske vrtače so v primerjavi s sufozijskimi večje, zato je za njihovo zasutje potrebna večja količina odpadkov. Domnevamo, da so korozijske vrtače v neposredni bližini industrijskih obratov, ki so imeli dolgoletno »tradicijo« proizvodnje odpadkov (na primer organskih odpadkov in galvanskih muljev v tovarnah KLI in Valkarton), zasute z odpadki in glede na statiko, ki jo omogočajo odpadki, pozidane s parkirišči, skladišči ali preprostimi stavbnimi poslopji. Sufozijske vrtače na kmetijskih zemljiščih Pustega polja so zasipavali zaradi izboljšanja kakovosti zemljišč, predvsem njiv, medtem ko so pogostim poplavam izpostavljene vrtače in okoliška zemljišča na Brojskem polju za njive neprimerna in prevladujejo travniki. Glede na načrtovano nadaljnjo rabo določene vrtače se je za zapolnitev vrtače z odpadki in njihovo prekritje uporabil primeren material.

**Kataster nekdanjih odlagališč odpadkov v gramoznicah** na vodovarstvenih območjih vodarn Kleče in Jarški prod vključuje 318 registriranih gramoznic, med katerimi smo jih 71 opredelili kot nek-



Slika 56: Zasuta vrtača na Logaškem polju, ki jo prerašča regrat.

danja odlagališča odpadkov (slika 57). Sinteza rezultatov temelji na združitvi vseh zaznanih objektov, tistih ki so bili zajeti z analizo nekdanje pokrajine in tistih v zdajšnji pokrajini. Kot najbolj zanesljive gramoznice so bili opredeljeni objekti, ki so bili z veliko verjetnostjo določeni na arhivskih aeroposnetkih in so na podlagi 3R analize dovolj globoki. Ker vseh gramoznic v katastru v okviru analiz nekdanje pokrajine nismo mogli zanesljivo ovrednotiti, smo jih postavili v kontekst rezultatov preučevanja sodobne pokrajine. V njej smo določali lokacije posameznih gramoznic z vizualizacijo in interpretacijo LiDAR reliefnih podatkov. Stopnjo zanesljivosti smo določili s primerjavo rezultatov analize nekdanje in zdajšnje pokrajine. Kadar je določena gramoznica prepoznana z analizo nekdanje pokrajine, v sodobni pokrajini pa je ni mogoče več zaznati kot vbočeno obliko, lahko z gotovostjo sklepamo, da je v nekdanji kotanji skrito odlagališče odpadkov.

Depozemi, ki smo jih vzorčili na zasutih in delno zasutih gramoznicah, so le delni dokaz, da gre dejansko za zasute gramoznice in ne le za površinsko nasuto plast. Značilnost depozemov je, da so nastali na plasteh alohtone zemljine ali odpadkov, in, da navadno še nimajo razvitega humoznega horizonta. Ker so najpogostejši prekrivni material gradbeni odpadki, ki vsebujejo veliko trdih skeletnih delcev, je tudi koreninska cona plitva. Globina in sestava depozemov sta pomembna dejavnika fizikalnih in kemijskih značilnosti površja, kot so vlažnost in temperatura prsti, vsebnost hranil, vrednost pH in druge, ki lokalno vplivajo na razvoj rastlinstva na depozemih. Te lastnosti se odražajo v infrardečem delu elektromagnetnega spektra.

Prsti na območju pogozdenih prodišč, kakršno je Jarški prod, so plitve, peščene in nerazvite, s karbonatno prodnopedšeno matično podlago. Preučevali smo tudi opuščene gramoznice iz petdesetih let 20. stoletja, ki so ohranile izkopne kotanje, ki so se v pol stoletja zarasle z grmovjem in nizkim drevjem. V njih smo našli le na manjše kupe starih odpadkov iz česar lahko sklepamo, da niso bile nikoli načrtno sanirane. Na dnu kotanj smo sondirali plitve profile (15 cm) nastajajočih prsti na produ. So črne barve in humozne. Spomladi na njih uspevajo mali zvončki (*Galanthus nivalis*). Naravno rastlinstvo pogozdenih obsavskih prodišč na preučevanem območju je zelo mlado (med drevesi prevladujejo vrbe in jelše), redko in podobno tistemu na zasutih gramoznicah. S terenskim kartiranjem pa so se vendarle razkrile določene razlike. Zasute gramoznice poraščajo mahovi, ki so med drugim tudi pokazatelj antropogenih prsti. Na travniških območjih obrečnih prsti se zasute gramoznice povsem zlijejo z okolico. V nekaterih izravnanih gramoznicah pedološko sondiranje ni potrdilo suma o zasipavanju o nakopičenih odpadkih, kar je omogočilo šele merjenje električne upornosti tal.

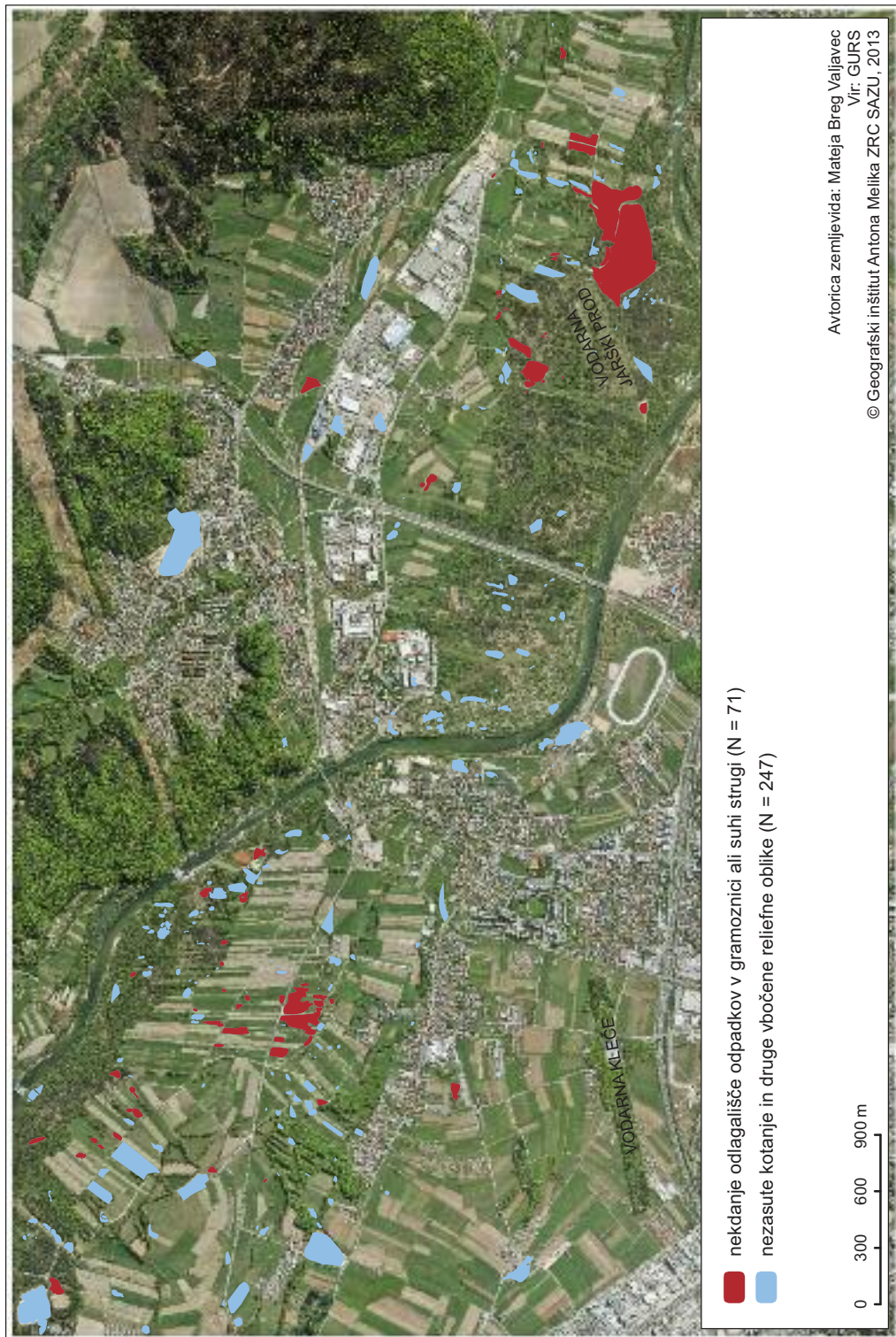
Območja zasutih in ohranjenih gramoznic, suhih strug in vmesnih fosilnih prodišč na Ljubljanskem polju lahko od naravne okolice ločimo na podlagi določenih pedogeografskih in fitogeografskih značilnosti, ki so skupaj s temeljnimi lastnostmi strnjene v preglednici 6.

Prsti na preučevanem območju so plitve, skeletne, dobro odcedne in zato suhe. Padavine skozi nje zelo hitro stečejo v podtalnico. Za območja suhih strug so značilne globlje ilovnate in slabo odcedne prsti. Površinske plasti zasutih gramoznic sestavljajo debele plasti heterogenih odpadkov, pomešanih z ilovnatim izkopnim materialom, ki zadržuje vlogo. Sum o podzemno odloženih odpadkih je na terenu možno določiti tudi glede na navzočnost večje količine antropogenih predmetov ali odpadkov na tleh, predvsem plastične mase, cementnih blokov iz ruševin, delov asfalta, odpadnih delov pohištva, zavrnjenih naprav in podobnega. Neposredni pokazatelj je tudi delovanje krta. Krt namreč rije v koreninski coni, na globini od 40 do 50 cm, kjer so žuželke, s katerimi se prehranjuje. Če je koreninska cona zaradi kakršnihkoli razlogov preplitva, krt tam ne rije in zato krtin ni, če pa slučajno zaide, rije čisto pod površjem in pri tem privzdiguje vrhno plast prsti in rastlinje, v krtinah pa lahko najdemo koščke odpadkov (slika 58).

Večina z odpadki zapolnjenih gramoznic je bila »sanirana« s prekritjem z gradbenimi odpadki. Ker vsebujejo veliko večjih skeletnih delcev, kot so kosi betona in opeke, oranje in obdelovanje tovrstnih zemljišč ni mogoče. Zato so praviloma na površini zasutih gramoznic trajni travniki. Z odpadki zasute

*Slika 57: Nekdanja odlagališča odpadkov na vodovarstvenih območjih vodarn Kleče in Jarški prod. ►*





*Preglednica 6: Odnosi med reliefnimi, pedogeografskimi in fitogeografskimi značilnostmi površja, določeni s terenskim raziskovanjem.*

		suha struga	fosilno prodišče	ohranjena gramoznica	zasuta gramoznica
RELIEF	rahlo vbočen	x		x	x
	rahlo izbočen		x		x
	grbinast				x
	raven		x		x
PRST	debela ilovnata	x			x
	plitva ilovnata		x		x
	debela ali plitva peščena		x		x
	plitva humozna			x	
	depozem			x	x
RASTLINSTVO	mahovi				x
	hidrofilne trajnice	x		x	
	grmovje in grmovna drevesa	x	x	x	x
	visokodebelna drevesa	x	x		



MATEJA BREG VALJAVEC

*Slika 58: Koščki gradbenih odpadkov v krtini so izvrsten pokazatelj podzemno odloženih odpadkov.*



gramoznice tudi niso pozidane, saj nestabilna podlaga ne omogoča zidave statično zahtevnih stavbnih objektov, ampak le ureditev parkirišč in izgradnjo cest. Zasuta gramoznica je znotraj obdelanih kmetijskih zemljišč lahko le manjši neobdelan del zemljišča, ki je pogosto nepravilne ali okrogle oblike in se zarašča z grmovjem ali grmovnim drevjem. Na območju zasute gramoznice v gozdu ni visokih dreves. Na podlagi teh značilnosti smo izdelali prvo masko vegetacijskih območij.

**Nekdanja odlagališča odpadkov** v Sloveniji so posledica razpršenega in policentrično usmerjene-povojnega razvoja tedanje Socialistične Republike Slovenije (Šebenik 1994; Bricelj 1988; Smrekar s sodelavci 2006). Ker jih je zelo veliko, so dokaj majhna, kar velja tudi za odlagališča v kotanjah. Razporejena so na obrobju vasi in mest ter industrijskih središč. Odlagališča v gramoznicah so nepravilne do pravilne oblike, različne velikosti navezana na zemljiško parcelacijo. Pravokotna oblika parcele se pogosto odraža tudi v obliki površinskega kopa. Na aluvialnih ravninah prevladujejo majhne parcele pravilnih oblik. Skladno s tem so nekdanja odlagališča v gramoznicah manjša in razdrobljena po več parcelah. Po 2. svetovni vojni je bilo izkopavanje proda osredotočeno na manj kakovostnih kmetijskih zemljiščih. To je bilo tudi obdobje, ko je bilo kmetijstvo zapostavljena in družbeno manj vredna dejavnost, ki je država ni kaj prida podpirala. Je bilo Zaradi povojne obnove ter nagle rasti mest in industrije je bilo donosnejše in bolj zaželeno pridobivanje gramoza.

Izdelava katastra nekdanjih odlagališč odpadkov je smiselna in potrebna tudi na drugih območjih ranljivih aluvialnih in kraških vodonosnikov. Sodobna onesnaženja, ki jih zaznava redni monitoring pitne vode, so pogosto neznanega izvora in so očitno posledica starih okoljskih bremen. Rezultati monitoringa dokazujejo, da so izcedne vode iz nekdanjih odlagališč odpadkov občasno še vedno nasičene z razgradnimi produkti onesnaževal iz zakopanih odpadkov. Uporabljene terenske metode so vsebinska dopolnitev in kontrola rezultatov geoinformacijskih metod. Na podlagi dobljenih rezultatov ugotavljamo, da so učinki odlaganja odpadkov v kotanjah določljivi tudi s podrobnejšo analizo rastlinskih vrst (fitocenološki popis po Braun-Blanquetovi lestvici) in sondiranjem prsti.

Rastline so odličen pokazatelj talnih sprememb v celoti kot tudi v prsti. So pokazatelj nerazvitosti prsti, ki je značilna za zasute gramoznice in vrtače, ima nerazvite horizonte, slabo strukturo in je brez humoznega horizonta. V takšnih razmerah uspevajo **pionirske vrste**, v tuji literaturi imenovane tudi **ruderalne vrste** (angleško *ruderal species*). Mednje spadajo mahovi, regrat in pleveli. Nekatere rastline so tudi zelo dober pokazatelj povečanih hranil v zemljini in se pojavijo, kadar so pod njimi odloženi odpadki organskega izvora, pri čemer se iz razpadajočih snovi sproščajo hranila (dušik) in razni plini. Ti povzročajo evtrofikacijo prsti in posledično uspevanje evtrofnih rastlin, kot so koprive in kislice. Evtrofne rastline so tudi pokazatelj pregnojenosti kmetijskih zemljišč.

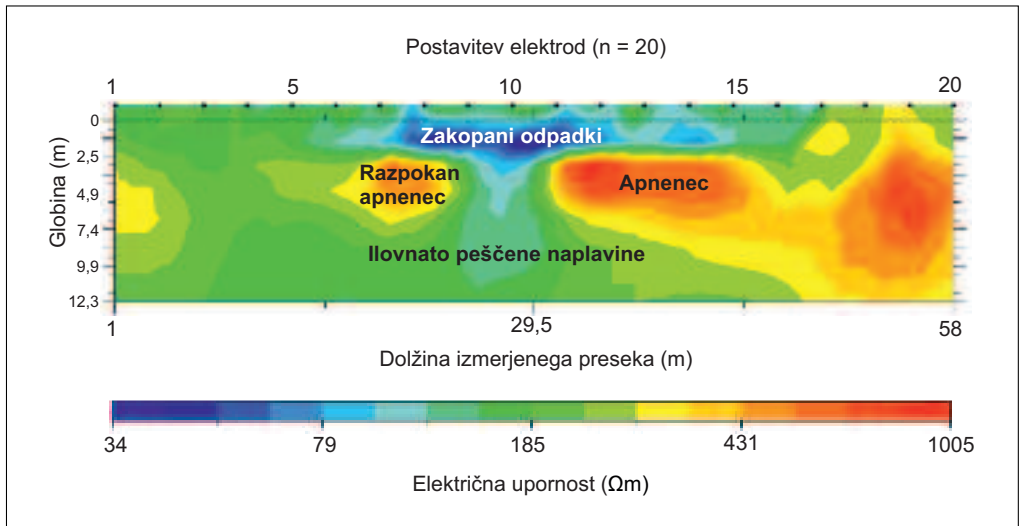
Merjenje električne upornosti je časovno potratna metoda, pri kateri je že pred samo meritvijo največ dela in časa potrebna za postavitev sond in kablov. Rezultati meritev so odvisni od vlažnosti tal. Na Ljubljanskem polju smo upornost zasutih gramoznic merili marca 2012, po dolgotrajnem sušnem obdobju. Ker so bili odpadki bolj suhi, je bila njihova povprečna upornost večja kot na Logaškem polju, kjer so meritve potekale konec aprila istega leta, po celomesečnem deževju. Z grafično predstavitev rezultatov meritev na območjih posameznih zasutih kotanj lahko, tako na Logaškem kot na Ljubljanskem polju, izpostavimo nevarnost prehajanja onesnaženih izcednih vod iz odlagališč v podzemno vodo oziroma vodonosnik.

Slika 59 prikazuje električno upornost tal na preseku sufozijske vrtače, zasute z organskimi odpadki, ki jih označuje temnomodra barva. Navzdol proti »sufozijskemu lijaku« se nadaljuje svetlomodra barva, kar nakazuje, da z organskimi snovmi nasičene izcedne vode prodirajo v globlje plasti in naprej v kraško podzemlje. Ker smo meritve na območju obravnavane vrtače izvedli po daljšem deževju, je bilo možno zaznati nastali »oblak« območja nižje upornosti tal, ki odraža nasičenost s prenikajočo vodo.

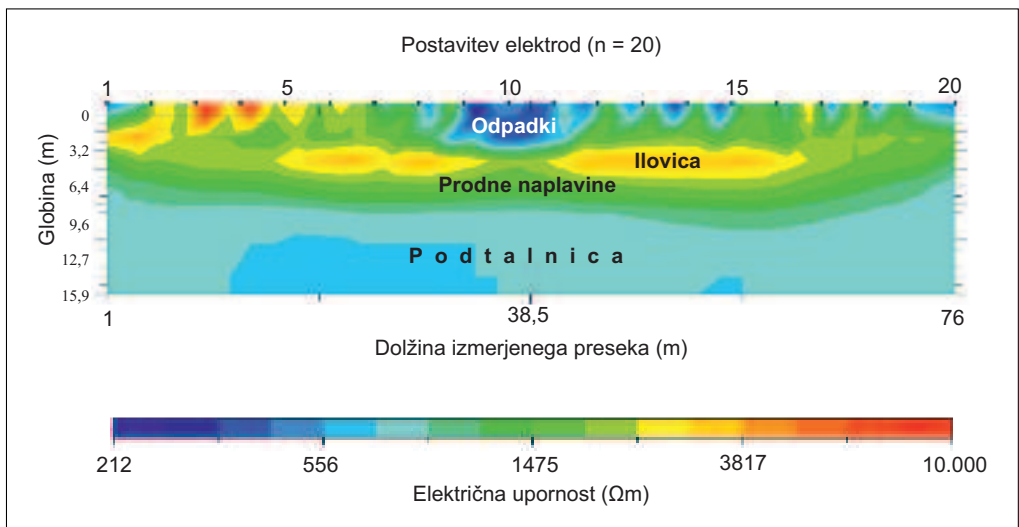
Podtalnica Ljubljanskega polja je še vedno najpomembnejši vir za oskrbo Ljubljane s pitno vodo, saj zagotavlja 90 % potrebne količine. Pridobivajo jo v vodarnah Kleče, Šentvid, Hrastje in Jarški prod. Prvi dve sta v zahodnem delu Ljubljanskega polja, vodarna Hrastje je v njegovem vzhodnem delu, vodarna Jarški prod pa na levem bregu Save. Gladina podtalnice je tesno povezana s količino padavin. Tudi

trend porabe pitne vode je linearno uravnotežen vse od izjemnega upada porabe vode v devetdesetih letih prejšnjega stoletja, ko so nekateri večji industrijski obrati zaustavili proizvodnjo, drugi pa zmanjšali porabo vode in njeno onesnaževanje. Poraba vode je stabilna in se v posameznih delih Ljubljane giblje od 150 do 250 litrov na osebo dnevno (© INCOME 2012).

Z odpadki zasute gramoznice so neposredno nad podtalnico, tako da ogrožajo glavni vodni vir slovenskega glavnega mesta. Zaradi delno odstranjene krovne plasti vodonosnika in popolne odsotnosti površinskega pokrova (prst in rastlinstvo) je v gramoznicah podtalnica še bližje površju. Na sliki 60 je grafična ponazoritev izmerjene upornosti tal na območju manjše zasute gramoznice. Odpadki segajo



Slika 59: Električna upornost tal na preseku z organskimi odpadki zapolnjene sufozijske vrtače.



Slika 60: Presek električne upornosti tal z odpadki (temnomodra barva) zasute gramoznice, neposredno nad podtalnico (svetlomodra barva).



do globine treh metrov, medtem ko je bila ob nizkem vodostaju marca 2012 gladina podtalnice na osmih metrih. Gramoznica je kilometer od Save, ki je poleg deževnice glavna napajalna žila medzrnskega vodonosnika Ljubljanskega polja. Nenaden dvig gladine podtalnice bi lahko povzročil neposreden stik zasutih odpadkov s podtalnico, kar bi pomenilo hitrejšo razgradnjo odpadkov, izcejanje strupenih snovi v vodonosnik in posledično onesnaženje pitne vode.

Na Ljubljanskem polju je zelo tesna povezanost med hidrološkim režimom reke Save in ravno gladine podtalnice. Nestrokovni tehnični posegi v rečno strugo lahko povzročijo nepredvidljive okoljske posledice in vplivajo na gladino podtalnice. Ko je bila leta 1988 na Savi zgrajena hidroelektrarna Mavčiče, je prišlo do dviga gladine podtalnice v vodonosniku Kranjsko-Sorškega polja. V bližini akumulacijskega Trbojskega jezera se je dvignila za kar 9 metrov. Dvig gladine, ki so ga zaznali na celotnem polju, se je z oddaljevanjem od jezera manjšal (Horvat 2006). Takšen scenarij bi se lahko ponovil tudi na Ljubljanskem polju, če bi Savo zajezili za tamkaj načrtovane hidroelektrarne. Zato je pred tovrstnimi gradbenimi posegi potrebna natančna tehnična in okoljska analiza tveganj, ki mora upoštevati tudi okoljska bremena nekdanjih odlagališč odpadkov v gramoznicah. Z vidika ohranjanja kakovosti pitne vode iz podzemnih vodonosnikov je treba lokacije nekdanjih odlagališč odpadkov vnesti v dokumente prostorskega načrtovanja in jih pri umeščanju novih posegov v prostor seveda upoštevati.

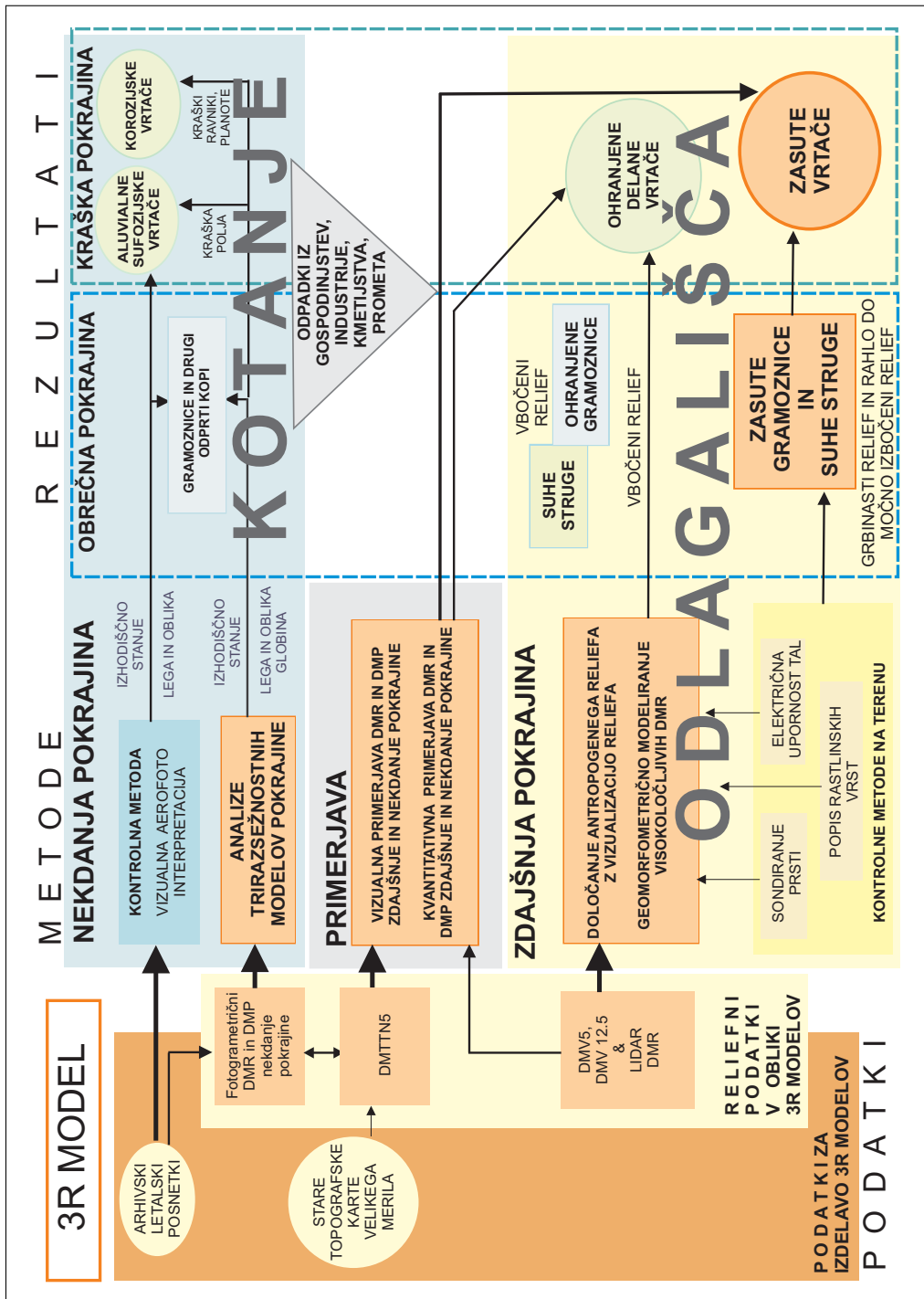
Nekdanja odlagališča odpadkov pa so lahko nepredvidljiva ovira tudi pri umeščanju stavbnih zemljišč v prostor, saj je pred morebitno gradnjo potrebna obsežna in draga sanacija oziroma renaturacija zemljišča. Na trgu nepremičnin je lahko določeno zemljišče finančno bolj ovrednoteno kot si zasluži glede na njegovo dejansko stanje. Kmetijska zemljišča so za zdaj razdeljena v kakovostne razrede le glede na rodovitnost prsti in nekatere naravnogeografske značilnosti (lega, naklon), degradirana območja zasutih gramoznic pa se ne upoštevajo. Nekdanja odlagališča odpadkov so največkrat nepravilno sanirana. Odpadki so bili prekriti z gradbenimi odpadki ali pa so ostali izpostavljeni delovanju podnebnih dejavnikov. Na njih so se sčasoma razvili plitvim prstem podobni depozemi (Stroganova s sodelavkami 2004), ki praviloma nimajo kmetijske vrednosti. So zelo plitvi (od 10 do 30 cm), brez zaznavne strukture in horizontov ter vsebujejo koščke odpadkov. Na njih prevladujejo travniki oziroma različne oblike drevesno-grmovnega rastlinja, ki jih kataster in kategorizacija nekdanjega Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP 2002) uvrščata med različne zemljiške kategorije, na primer grmišča, gozd, mešana raba zemljišč, zemljišča v zaraščanju (Petek 2005).

## 11.2 ENOTEN 3R MODEL ZA KRAŠKI IN ALUVIALNI TIP POKRAJINE

3R koncept je izhodišče za **3R model** preučevanja nekdanjih odlagališč odpadkov (slika 61), ki tri pristope – analizo nekdanje pokrajine, analizo zdajšnje pokrajine ter primerjavo nekdanje in zdajšnje pokrajine – povezuje z vidika zaznavanja reliefnih značilnosti, reliefnih sprememb in antropogenih učinkov. Cilj raziskave, da izberemo najustreznejšo metodo oziroma skupino metod, smo na podlagi preskušanja različnih metod ter vrednotenja njihove kakovosti in zanesljivosti dosegli z izdelavo modela, ki vključuje vse metode. 3R koncept smo razvili v končni 3R model, ki je z reliefnimi analizami uporaben za odkrivanje in preučevanje nekdanjih odlagališč odpadkov tako v kotanjah kraških pokrajin kot v kotanjah obrečnih ravnin.

Izvedba modela ter kakovost in zanesljivost dobljenih rezultatov v obliki potencialnih lokacij nekdanjih odlagališč odpadkov so odvisni predvsem od razpoložljivosti in kakovosti reliefnih podatkov. Od razpoložljivih podatkov in njihove kakovosti je odvisno tudi, ali bo 3R model prvenstveno usmerjen v analizo zdajšnje ali nekdanje pokrajine. Arhivski posnetki so podlaga za študij in reliefno analizo nekdanje pokrajine, vendar jih je treba fotogrametrično obdelati za pripravo trirazsežnostnih podatkov, saj lahko le tako dobimo informacije o geometriji kotanj pred njihovim zasutjem.

*Slika 61: Shematski prikaz 3R modela za določanje nekdanjih odlagališč odpadkov v kotanjah kraškega in obrečnega fluvialnega reliefa. ► str. 106*



V nekdanji pokrajini odkrivamo in preučujemo kotanje, v zdajšnji pa z odpadki zasute kotanje, ki imajo na aluvialnih območjih izravnani, rahlo vbočeni, rahlo izbočeni, neredko pa tudi grbinasti relief. Slednjega lahko zaznamo le s terenskim geomorfološkim kartiranjem in/ali na visokoločljivem LiDAR DMR. Ena od pomembnejših geometrijskih značilnosti z odpadki zasute kotanje je njena globina, ki jo lahko določimo v nekdanji pokrajini, ne pa tudi z reliefnimi analizami zdajšnje pokrajine, tudi ne z visokoločljivostnimi LiDAR podatki. V sodobni pokrajini je določanje globine vezano na terenske meritve, predvsem merjenje električne upornosti tal, s katerim dobimo »vpogled« v zasuto kotanjo, torej na njene presek, obliko in velikost.

3R model je učinkovit za določanje in odkrivanje neznanih lokacij nekdanjih odlagališč odpadkov in določanje količine zakopanih odpadkov, ne omogoča pa prepoznavanja vrste odpadkov in vrednotenje stopnje njihove nevarnosti za okolje in zdravje ljudi.

Analize reliefa in reliefnih sprememb v okviru 3R modela temeljijo na različnih trirazsežnostnih digitalnih modelih pokrajine (DMP), digitalnih modelih višin (DMV) ali digitalnih modelih reliefa (DMR). Poimenovanje je odvisno od površja, ki ga model predstavlja. Bistveno je, da so vse tridimenzionalne oziroma trirazsežnostne predstavitve površja bodisi v rastrski bodisi v vektorski obliki.

Za razliko od izvedenega 3R koncepta je 3R model v kraškem reliefnem tipu, za katerega je značilna velika gostota vrtač, smiselno začeti v zdajšnji pokrajini. S tem se izognemo nepotrebni in preobsežni ugotavljanju vseh vrtač in lahko raziskavo usmerimo le na tiste vrtače, kjer so nekdanja odlagališča odpadkov. Žal smo še vedno zelo odvisni od razpoložljivosti in dostopnosti natančnih LiDAR podatkov. Poleg reliefnih podatkov je treba v model vključiti tudi »nereliefne podatke«, na primer večspektralne letalske in satelitske posnetke, s čimer lahko ugotavljamo tudi vplive odlagališč odpadkov na prsti in rastlinstvo.

### 11.3 SKLEP

Nekdanja odlagališča odpadkov smo skupaj s pozitivnimi dobrinami podedovali od prejšnjih generacij. Velike količine podzemno odloženih odpadkov so dandanes skrite in pozabljene, označimo jih lahko kot staro okoljsko breme. Naša naloga in moralna obveza, ki nam jo nalaga paradigma o trajnostnem razvoju, je, da prihajajočim generacijam zagotovimo bistvene informacije o starih okoljskih bremenih in začnemo s sanacijo najhujših med njimi. Navsezadnje smo se k temu zavezali v Pravilniku o ravnanju z odpadki (UL RS 84/1998 z dopolnitvami), kjer je med drugim zapisano: »... vzpostavitev učinkovitega sistema ravnanja z odpadki in postopna odprava starih bremen ...«.

V kraških in ravninskih pokrajinskoekoloških tipih, kjer so ranljivi kraški in medzrnski vodonosniki, je treba vzpostaviti evidenco in kataster starih okoljskih bremen, med katera spadajo tudi nekdanja odlagališča odpadkov v vrtačah in gramoznicah. V Sloveniji so porozni medzrnski in kraški vodonosniki glavni, ponekod celo edini vir pitne vode. Onesnaženja, ki jih razkriva redni monitoring podzemne vode, so pogosto neznanega izvora. Pojavljajo se zaradi snovi, ki ne nastajajo v sodobnih proizvodnih procesih. Domnevamo, da so navezana predvsem na nekdanja odlagališča odpadkov v kotanjah. Najhitrejša spiranje v podzemlje poteka v gramoznicah, kjer je bila z izkopavanjem gramoza nekaj metrov debela plast nezasičene cone vodonosnika, ki ima vlogo čistilnega filtra, odstranjena. S tem lahko onesnaževala neposredno prodirajo v podtalnico. Zato je treba zasute gramoznice, ki so v prvem vodovarstvenem pasu in v dotočni smeri vodnjakov pitne vode, čim prej sanirati.

Sufozijske vrtače v kvartarnih naplavinah Logaškega kraškega polja so potencialno zasute s komunalnimi, organskimi in nevarnimi industrijskimi odpadki. Zaradi intenzivnih geomorfoloških in hidrogeoloških procesov, ki tovrstne vrtače oblikujejo, sta njihovo nastajanje, pa tudi spiranje morebitnega odpadnega materiala v podzemlje najintenzivnejša ob obilnih padavinah. Odpadki se spirajo v podzemne kanale, kjer se zaradi konstantnih razmer njihova razgradnja upočasnjuje. Nadaljnje raziskave je treba nameniti predvsem določanju vrtač, kjer so zakopani nevarni odpadki in organski odpadki, ki onesnažujejo podzemno vodo. Skladno s tem je treba še naprej terensko preučevati pedogeografske in fitogeografske značilnosti nekdanjih odlagališč odpadkov v vrtačah, geoinformacijske analize pa dopolniti z infrardečimi in termalnimi posnetki.

Fitogeografske raziskave izražajo rastlinske anomalije, ki dokazujejo, da praviloma narava sčasoma sama poskrbi za čiščenje. Ko »zboli« ali je »ranjena«, se samodejno vklopi njen imunski sistem. Na območju z organskimi odpadki zapolnjenih vrtač so pogostejše evτροφne rastline. Njihova naloga je namreč skrb za odstranjevanje povečanih nenaravnih vsebnosti hranil v tleh. Samočistilne sposobnosti območja se povečajo zaradi naravnega procesa sekundarne sukcesije. Najprej se pojavijo pionirske vrste, ki jim sčasoma sledijo višje razvite rastlinske vrste. Študij območij, kjer poteka tovrstna samodejna sanacija, in spoznanja z rezultati so pomembna strokovna izhodišča za fitoremediacijo nekdanjih odlagališč odpadkov. Fitoremediacija je sanacija degradiranega območja z zasaditvijo ustreznih rastlin, ki za svoj razvoj potrebujejo določene tamkaj nakopičene snovi, oziroma jim te ne škodujejo. Določene rastline imajo povečano sposobnost absorpcije in vezave strupenih snovi, denimo dušika, fosforja, težkih kovin.

Vrtača je kraška reliefna oblika, kjer potekajo samosvoji naravnogeografski procesi, ob katerih se razvije značilno življenjsko okolje. Ugodne naravne razmere omogočajo različne antropogene dejavnosti. Ker pa raba vrtač postaja čedalje bolj nesonaravna, so vrtače v nekaterih pokrajinah še posebej ogrožene. Poleg okoljskega obremenjevanja je treba izpostaviti spreminjanje njihovega naravnega reliefa z zasipavanjem in pozidavo. Razvijajoča se urbana naselja in avtoceste se prek pomembnih območij vrtač, kakršna so na primer Logaško polje, Kras in Matarsko podolje, nenadzorovano širijo. Največjo degradacijo povzročajo nastajajoče storitveno-obrtno-industrijske cone, denimo v Logatcu, Divači in Kozini, ki s sklenjenimi pozidanimi površinami uničijo prostrana območja vrtač.

Na podlagi večletnega raziskovanja dolgotrajne degradacije vrtač na Logaškem polju (Breg 2007; Breg Valjavec 2010) je treba poudariti, da ohranjanju in zaščiti kraške geodiverzitete v strokovni in laični javnosti ne namenjamo zadostne pozornosti. Za razliko od kraških jam, s katerimi upravlja Zakon o varstvu podzemnih jam (UL RS 2/2004), za ravnanje z vrtačami ne obstaja nikakršen predpis. Vendar, tako kot je kraška jama posebnost kraškega podzemlja, je vrtača posebnost kraškega površja, s tem, da je človeku dostopnejša in zato še bolj izpostavljena preoblikovanju ter degradaciji. V Sloveniji se za zdaj varujejo le izjemne vrtače, ki so ovrednotene bodisi kot naravna bodisi kot kulturna vrednota, lahko pa se jih ščiti tudi širše, v okviru zavarovanih območij, pa naj si gre za naravni park ali naravni rezervat. Glede na razlike v načinu rabe vrtač je treba najti ustrezen način načrtovanja rabe prostora tudi na območjih vrtač in skladno z njim določiti možnosti za njihovo ohranjanje.

Obstoječe možnosti varovanja vrtač so omejene v glavnem na območja zunaj intenzivnih urbanih in agrarnih pritiskov, medtem ko je treba pred raznovrstnimi fizičnimi posegi varovati tudi vrtače znotraj in na obrobju razvijajočih se naselij. Zašita vrtač mora temeljiti na strokovnem ovrednotenju in celostni zaščiti. Pozornost je treba usmeriti tudi v določanje nekaterih značilnosti krasa, kot je recimo model kraških procesov, v kraške oblike, primerne za izobraževalne namene, v paleogeomorfološke primerne ali z ekološkega vidika ohranjanju značilnih habitatov (Panizza 2003; Erhartič 2012).

Glede na ugotovljene značilnosti nekdanjih odlagališč odpadkov v kotanjah in njihovo velikost tuje geoinformacijsko podprte metodologije njihovega določanja, ki večinoma temeljijo na analizi večspektralnih satelitskih posnetkov (Silvestri in Omri 2008; Slonecker s sodelavci 2010), niso v celoti popolnoma prenosljive v Slovenijo. Večina tujih in domačih raziskav, usmerjenih v daljinsko zaznavanje divjih odlagališč, temelji na določanju rastlinskih anomalij, na primer vegetacijskega stresa, ki se ga ugotavlja z radiometričnimi spektralnimi analizami. Podrobnejše analize, ki bi temeljila na prepoznavanju reliefnih sprememb, v tuji in domači strokovni literaturi nismo našli. V primerjavi s predhodnimi študijami odlagališč odpadkov, ki so temeljile na daljinskem zaznavanju, spektralnih analizah ter določanju posledic v rastlinstvu in prsteh, je pričujoča raziskava inovativna na naslednjih področjih:

- uporabi in preizkušanji različnih reliefnih podatkov ter izbiri reliefnih in tudi geomorfometričnih analiz, ki omogočajo določanje nekdanjih odlagališč odpadkov,
- povezovanju geoinformacijskih in kontrolnih terenskih metod, kot so merjenje električne upornosti tal, pedološko sondiranje ter popis rastlinskih vrst, kar je zagotovilo boljše rezultate in omogočilo bolj celovito poznavanje značilnosti nekdanjih odlagališč odpadkov tako v vrtačah kot v gramoznicah,



- pedološkem sondiranju in popisu rastlinskih vrst na območjih določenih odlagališč, ki sta lahko izhodišče za nadaljnje raziskave na področju določanja okoljskih in ekoloških učinkov dolgo zakopanih odpadkov na prsti, rastlinje in podzemne vode.

V geomorfometričnih analizah, reliefnem modeliranju in predstavljenih reliefnih analizah je zagotovo še veliko možnosti za določanje nekdanjih odlagališč odpadkov. 3R model je le podlaga in izhodišče za nadaljnje določanje nekdanjih odlagališč, ki ga je treba razviti in nadgraditi predvsem z geomorfometričnimi analizami, temelječimi na visoko ločljivostnih LiDAR digitalnih modelih reliefa. Ti so bili v raziskavi delno preizkušeni na območju prodne ravnine Ljubljanskega polja, preizkusiti pa jih je treba še v kraškem pokrajinskem tipu.

Kljub mnogim geoinformacijskim metodam in kakovostnim prostorskim podatkom, ki omogočajo daljinsko zaznavanje, modeliranje in temeljito preučevanje pokrajine, je v znanstveni geografiji rezultate treba dokazati in preveriti neposredno v pokrajini, torej na terenu. Znanje, ki ga raziskovalni geograf pridobi na podlagi otipljivega, neposrednega, fizičnega stika s preučevanim objektom ali pojavom, je še vedno ključnega pomena za poglobljeno interpretacijo rezultatov, pridobljenih z geoinformacijskimi analizami.

## 12 SEZNAM VIROV IN LITERATURE

- Ackermann, F. 1978: Experimental Investigation into the Accuracy of Contouring from DTM. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 44.
- Advanced Geosciences 2003a: 2D Resistivity and IP Inversion Software Instruction Manual. Version 1.2.0. Austin.
- Advanced Geosciences 2003b. Seminar on Resistivity Imaging.
- Allgaier, G., Stegmann, R. 2005: Developing of a Simplified Preliminary Risk Assessment Method. The International Conference on Managing Urban Land. Cabernet.
- Anders, N. S., Seijmonsbergen, A. C., Bouten, W. 2009: Multi-Scale and Object-Oriented Image Analysis of High-Res LiDAR Data for Geomorphological Mapping in Alpine Mountains. *Proceedings of Geomorphometry 2009*. Zürich.
- Beck, B. F. 2003: Sinkholes and the Engineering and the Environmental Impacts of Karst. *Proceedings of 9<sup>th</sup> Multidisciplinary Conference. Geotechnical Special Publication 122*. Huntsville.
- Beck, B. F. 2012: Soil piping and sinkhole failures. *Encyclopedia of Caves*.
- Bračič Železnik, B., Frantar, P., Janža, M., Uran, J. 2005: Ranljivost podzemne vode. *Podtalnica Ljubljanskega polja. Geografija Slovenije* 10. Ljubljana.
- Brečko Grubar, V. 1998: Vpliv pokrajinskoekoloških dejavnikov na vodno oskrbo Ljubljane. Magistrsko delo. Oddelek za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Breg, M. 2007: Degradacija vrtač na Logaškem polju (Slovenia). *Acta carsologica* 36-2. Postojna.
- Breg, M., Urbanc, M. 2005: Gramoznice in dileme (ne)trajnostnega razvoja degradirane obrečne pokrajine. *IB Revija* 4. Ljubljana.
- Breg Valjavec, M. 2010: Izdelava Digitalnega modela reliefa nekdanje pokrajine (Logatec 1972). *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2009–2010*. Ljubljana.
- Brenčič, M. 2004: Hidrogeološke terenske raziskave in hidrogeološke analize za sanacijo opuščene odlagališča v Pesniškem dvoru. Ljubljana.
- Breznik, M. 1990: Ogroženost podtalnice. *Ujma* 4. Ljubljana.
- Bricelj, M. 1988: Popis odlagališč odpadkov in pokrajinsko-ekološki vidiki izbora alternativnih lokacij za urejeno odlaganje smeti v občini Logatec. Inštitut za geografijo Univerze Edvarda Kardelja. Ljubljana.
- Burrough, P. A., McDonnell, R. A. 1998: *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford.
- Ciglič, R., Gostinčar, P. 2011: Primerjava rezultatov računalniškega prepoznavanja reliefnih oblik z rezultati geomorfološkega kartiranja. *Geografski vestnik* 83-1. Ljubljana.
- Conforto Sesto, J. R. 2004: Erosion in Southern Monterey Bay. Magistrska naloga. Monterey.
- Doyle, F. J. 1978: Digital Terrain Models: An Overview. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 44. Bethesda.
- Družina, B. 2009: Sanacija odlagališča kislega gudrona. Zbornik referatov. 22. seminar Poslovno-proizvodni trendi, razviti svet in mi in Osemintredeseto srečanje strojnikov.
- Ehlers, M. 2008: Geoinformatics and digital earth initiatives: a German Perspective. *International Journal of Digital Earth* 1-1. London.
- Erhartič, B. 2012: Geomorfološka dediščina s Dolini Triglavskih jezer. *Geografija Slovenije* 23. Ljubljana.
- Ford, D., Williams, P. W. 2007: *Karst hydrology and geomorphology*. Chichester.
- Fourie, A. B., Morris, J. W. F. 2003: The irrelevance of time as a criterion for aftercare provision. *Proceedings Sardinia 03, Ninth International Waste Management and Landfill Symposium*. Padova.
- Gallant, J. C., Dowling, T. I. 2003: A multiresolution index of valley bottom flatness for mapping depositional areas. *Water Resources Research* 39.
- Gams, I. (ur.) 1973: *Slovenska kraška terminologija*. Ljubljana.
- Gams, I. 1994: Pojem in obseg doline v slovenski regionalni geografiji. *Geografski vestnik* 66. Ljubljana.
- Gams, I. 2003: *Kras v Sloveniji v prostoru in času*. Ljubljana.

- Gautierrez, F., Guerrero, J., Lucha, P. 2008: A genetic classification of sinkholes illustrated from evaporation paleokarst exposures in Spain. *Environmental Geology*.
- Geister, I. 1999: Izbrana življenjska okolja rastlin in živali v Sloveniji. Ljubljana.
- Georgaki, I., Soupios, P., Sakkas, N., Ververidis, F., Trantas, E., Vallianatos, F., Manios, T. 2008: Evaluating the use of electrical resistivity imaging technique for improving CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> emission rate estimations in landfills. *Science of the Total Environment* 389.
- GEOIN d. o. o. Geodetski inženiring Maribor 2011: Laserski posnetek območja Kleče. Maribor.
- GURS 1959: Arhivski aeroposnetki 1959. PAS 1959. Ljubljana.
- GURS 1964: Arhivski aeroposnetki 1964. PAS 164. Ljubljana.
- GURS 1972: Arhivski aeroposnetki 1972. PAS 1972, Snemalni pas 53, 54, številke posnetkov: 044, 045, 046, 070, 071, 072. Ljubljana.
- GURS 2006: DMV 5 (Digitalni model višin 5 m) Slovenije.
- Hanjže, J. 2001: Gramoznice v Sloveniji. Diplomski naloga. Pedagoška fakulteta Univerze v Mariboru. Maribor.
- Hjelmar, O., Johannsen, L. M., Knox, K., Ehrig, H. J., Flyvbjerg, J., Winther, P., Christensen, T. H. 1995: Composition and management of leachate from landfills within the EU. *Proceedings Sardinia 95, Fifth International Landfill Symposium*. Padova.
- Horvat, A. 2006: Vpliv izgradnje hidroenergetskih objektov na vodni režim. Diplomski naloga. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- INCOME (Improved management of contaminated aquifers by integration of source tracking, monitoring tools and decision strategies (LIFE07 ENV/SLO/000725) 2012: Spletni pregledovalnik okoljskih podatkov. Medmrežje: <http://akvamarin.geo-zs.si/incomepregledovalnik/Default.aspx>, 14. 3. 2012.
- Jakič, M. 1995: Okoljevarstvena problematika sedanjih gramoznic na Ljubljanskem polju. Diplomski naloga. Oddelek za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Jennings, J. N. 1975: Doline morphometry as a morphogenetic tool: New Zealand examples. *New Zealand Geographer* 31. Auckland.
- Knez, M., Regent, T. 1993: Sanacija opuščenih gramoznic na Dravskem polju. Mišičev vodarski dan 93. Maribor.
- Kobal, J., Spruk, B., Špendl, R. 1999: Popis odlagališč odpadkov v Mestni občini Ljubljana. Oikos d. o. o. Ljubljana.
- Kobler, A. 2007: Uporaba LiDARja v gozdarstvu. Predavanje na delavnici Uporaba lidarja. Ljubljana.
- Kogovšek, J. 2011: Impact of chlorides, nitrates, sulfates and phosphates on increased limestone dissolution in the karst vadose zone (Postojna Cave, Slovenia). *Acta carsologica* 40-2. Ljubljana.
- Kogovšek, J., Petrič, M. 2012: Increase of vulnerability of karst aquifers due to leakage from landfills. *Environmental Earth Sciences*.
- Komac, B. 2006a: Dolec kot značilna oblika dolomitnega površja. *Geografija Slovenije* 13. Ljubljana.
- Komac, B. 2006b: Meritve električne upornosti kot sredstvo za ugotavljanje lastnosti gradiva na dolomitnih območjih. *Geografski vestnik* 78-2. Ljubljana.
- Konjar, Ž. 2001: Pokrajinske značilnosti gramoznic v Ljubljanski kotlini. Diplomski naloga. Oddelek za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Kosmač, P. 1988: Problematika gramoznic v zvezi z zaščito okolja: teoretični aspekti. Diplomski naloga. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Kosmatin Fras, M. 2004: Vpliv kakovosti vhodnih podatkov na kakovost ortofota. *Geodetski vestnik* 48-2. Ljubljana.
- Košmelj, B., Rován, J., 1997: Statistično sklepanje. Ekonomska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Kranjc, A. 2002: Vrtača. *Enciklopedija Slovenije*, 15. zvezek. Ljubljana.
- Kraus, K. 2007: *Photogrammetry: geometry from images and laser scans*. Berlin, New York.
- Krevs, M. 2002: Geoinformatika in aplikativna geografija v Sloveniji. *Dela* 18. Ljubljana.

- Kruempelbeck, I., Ehrlich, H. J. 1999: Long-term behaviour of municipal solid waste landfills in Germany. Proceedings Sardinia 99, Seventh International Waste Management and Landfill Symposium. Padova.
- Krušec, T. 2010: Sociološke in ekološke funkcije gozdnih površin na Jarškem in Tomačevskem prou. Diplomsko delo. Oddelek za gozdarstvo in obnovljive vire Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Kušar, S. 2000: Geografske značilnosti odlagališč odpadkov na Ljubljanskem polju. Diplomsko delo. Oddelek za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Kušar, S. 2001a: Metodologija ocenjevanja pokrajinskega vpliva neurejenih odlagališč odpadkov na kakovost podtalnice v prodnih sedimentih. Geografski vestnik 73-1, Ljubljana.
- Kušar, S. 2001b: Neurejena odlagališča odpadkov na Ljubljanskem polju. Geografski obzornik 48-2. Ljubljana.
- Kutin, A. 2010: Spimo na pozabljenih strupih. 7DNI. Ljubljana.
- Kvamme, K., Oštir-Sedej, K., Stančič, Z., Šumrada, Z., 1997. Geografski informacijski sistemi. Ljubljana.
- Lapajne, S., Osvald, L., Vončina, E. 1991: Preiskave kakovosti podtalnice na območju DO TGA Kidričevo. Zavod za zdravstveno varstvo. Maribor.
- Leica 2008: LPS Automatic Terrain Extraction, User's guide. Herrbrugg.
- Leica 2011: Erdas Imagine, User's guide. Herrbrugg
- Li, Z., Zhu, Q., Gold, C. 2005: Digital terrain modeling. Principles and methodology. Boca Raton.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., Rhind, D. W. 2005: Geographic Information Systems and Science. London.
- Marsetič, A. 2005: Izdelava digitalnega modela višin in ortopodob iz satelitskih posnetkov SPOT. Diplomaska naloga. fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Marsetič, A., Oštir, K. 2007: Uporaba satelitskih posnetkov SPOT za izdelavo ortopodob. Geodetski vestnik 51-1. Ljubljana.
- Matos, J. 2007: Presoja aerofotointerpretacije kot metode za odkrivanje divjih odlagališč odpadkov na Ljubljanskem polju. Diplomsko delo. Oddelek za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Maurice, C. 1998: Landfill gas emission and landfill vegetation. Luleå.
- Maurice, C., Bergman, A., Ecke, H., Lagerkvist, A. 1995: Vegetation as a biological indicator for landfill gas emissions. Initial investigations. Proceedings of Sardinia 95, Fifth International Landfill Symposium. Margherita di Pula.
- Mihevc, A. 1979: Geomorfološka karta ozemlja Logaških Rovt. Diplomsko delo. Oddelek za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Mihevc, A. 1985: Geomorfološka karta ozemlja Logaških Rovt. Acta carsologica 14–15. Ljubljana.
- Mihevc, A. 2001: Speleogeneza Divaškega Krasa. Ljubljana.
- MKGP 2002: Interpretacijski ključ. Podrobno pojasnilo posameznih klasifikacijskih razredov, ki so se uporabljali pri projektu Zajem rabe kmetijskih zemljišč, interno gradivo projektne skupine. Ministrstvo za kmetijstvo, Gozdarstvo in prehrano Republike Slovenije. Ljubljana.
- MKGP 2009: Zajem kmetijske rabe tal.
- Nagode, M. 2002: Pretoki Logaščice. Naše jame 44. Ljubljana.
- Orožen Adamič, M. 1970: Zaščita jam in področij na krasu. Planinski vestnik 70-7. Ljubljana.
- Orožen Adamič, M., Pleskovič, B. 1975: Problemi okolja in odlaganje trdnih odpadkov v Ljubljani. Geografski vestnik 47. Ljubljana.
- Orožen Adamič, M. 1979: Oris problematike odpadkov v Ljubljani. Geographica Slovenica 9. Ljubljana.
- Oštir, K. 2006: Daljinsko zaznavanje. Ljubljana.
- Pacina, J., Weiss, L. 2011: Georelief reconstruction and analysis based on historical maps and aerial photographs. Proceedings – Symposium GIS Ostrava 2011 24th–26th January 2011. Ostrava.
- Pagon, S., 2008: Geografija občine Logatec. Diplomsko delo. Oddelek za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. Ljubljana.



- Panizza, M. 2003: Karst Landforms as Geomorphosites – Kraške oblike kot geomorfološke naravne vrednote. Dela 20. Ljubljana.
- Perko, D. 2001: Analiza površja Slovenije s stometskim digitalnim modelom reliefa. Geografija Slovenije 3. Ljubljana.
- Perko, D. 2007: Morfometrična analiza Slovenije. Georitem 3. Ljubljana.
- Perko, D. 2008: Landscapes and Nature. Slovenia in Focus. Ljubljana.
- Petek, F. 2005: Spremembe rabe tal v slovenskem alpskem svetu. Geografija Slovenije 11, Ljubljana.
- Petrovič, N. 2011: Očistimo Slovenijo v enem dnevu. Ljubljana.
- Pišlar, M. 2010: Krajinska ureditev in sanacija nasipov odpadnega materiala RŽS Idrija. Diplomsko delo. Oddelek za krajinsko arhitekturo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Pleničar, M., Buser, S. 1970: Osnovna geološka karta SFRJ. Tolmač za list Postojna. Beograd.
- Plut, D. 1981: Odlagališča odpadkov v Blejskem kotu kot degradacijski element turistične pokrajine. Gorenjska, zbornik 12. zborovanja slovenskih geografov. Ljubljana.
- Plut, D., Kompare, M. 1985: Vodni viri Bele krajine. Raziskovalno poročilo. Inštitut za geografijo Univerze Edvarda Kardelja. Ljubljana.
- Podobnikar, T. 2001: Digitalni model reliefa iz geodetskih podatkov različne kakovosti. Doktorska disertacija. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Podobnikar, T. 2003: Chronology of digital terrain model production of Slovenia. Geodetski vestnik 47-1/2. Ljubljana.
- Podobnikar, T. 2005: Production of integrated digital terrain model from multiple datasets of different quality. International Journal of Geographical Information Science 19. Oxford.
- Podobnikar, T. 2008: High-quality data for enhancement of the terrain model of Slovenia. Geodetski vestnik 52. Ljubljana.
- Podobnikar, T., Možina, P. 2008: Analiza oblik površja z uporabo lokalnega okna. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008. Ljubljana.
- Podobnikar, T., Schöner, M., Jansa, J., Pfeifer, N. 2008: Spatial analysis of anthropogenic impact on karst geomorphology (Slovenia). Environmental Geology 58-2. Berlin.
- Požar, B. 2006: Geografske metode popisa in sanacije odlagališč odpadkov kraških ekosistemov: primer občine Pivka. Diplomsko delo. Oddelek za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Pravilnik o ravnanju z odpadki, 1998: UL RS 84/1998 z dopolnitvami.
- Radinja, D. 1951: Sava na Ljubljanskem polju. Geografski vestnik 23. Ljubljana.
- Rathje, W. 1991: »Once and Future Landfills«, National Geographic. Des Moines.
- Rathje, W. 1992: Rubbish!: The Archaeology of Garbage. New York.
- Ravbar, N., Zorn, M. 2003: Some characteristics of dolines of the Kras plateau in southwestern Slovenia. Geomorphologica Slovaca 3. Bratislava.
- Rihtaršič, M., Fras, Z. 1991: Digitalni model reliefa. Ljubljana.
- Rismal, M. 1993: Biološki minimum in preskrba s pitno vodo. Zbornik referatov Kolokvij Biološki minimum. Ljubljana.
- Röhrs, L. H., Fourie, A. B., Blight, G. E. 2000: Is 30 years an appropriate after-care period for Municipal Landfills. Proceedings 'WasteCon 2000'. Somerset West.
- Romstad, B., Etzelmüller, B. 2009: Structuring the Digital Elevation Model into Landform Elements through Watershed Segmentation of Curvature. Proceedings of Geomorphometry 2009. Zürich.
- Sauro, U. 2003: Dolines and sinkholes: aspects of evolution and problems of classification = »Doline« in »sinkhole« z vidika razvoja in težave s klasifikacijo. Acta carsologica 32-2. Ljubljana.
- Silvestri, S., Omri, M. 2008: A method for remote sensing identification of uncontrolled landfills: formulation and validation. International Journal of Remote Sensing 29.
- Slonecker, T., Fisher, G. B., Aiello, D. P., Haack, B. 2010: Visible and Infrared Remote Imaging of Hazardous Waste: A Review. Remote Sensing 2. Basel.

- Smrekar, A. 2007: Divja odlagališča odpadkov na območju Ljubljane. Georitem 1. Ljubljana.
- Smrekar, A., Breg, M., Fridl, J., Kladnik, D., Urbanc, M., Bračič-Železnik, B., Jamnik, B., Grilc, V., Husić, M., Kušar, S. 2005: Izdelava katastra in predloga prednostne sanacije odlagališč odpadkov vodozbirnega območja črpališča Jarški prod. Elaborat. Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU. Ljubljana.
- Smrekar, A., Breg Valjavec, M., Slavec, P., Bračič-Železnik, B., Jamnik, B., Grilc, V., Husić, M., Fridl, J., Rejec Brancelj, I., Abrahamsberg, J., Bole, D., Gašperič, P., Komac, B., Nared, J., Pavšek, M., Pipan, P., Zorn, M. 2006: Odlagališča odpadkov na vodovarstvenem območju, pomembnem za oskrbo MOL s pitno vodo. Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU. Ljubljana.
- Stepišnik, U., Ferk, M., Gostinčar, P., Černuta, L., Peternelj, K., Štemberger, T., Ilič, U. 2007: Alluvial fans on contact karst: an example from Matarsko podolje, Slovenia. Acta carsologica 36-2. Ljubljana.
- Stepišnik, U., Mihevc, A. 2008: Investigatoin of structure of various surface karst formations in limestone and dolomite bedrock with application of the electrical resistivity imaging. Acta carsologica 37-1. Ljubljana.
- Stepišnik, U., Ferk, M., Kodelja, B., Burger, B., Abramovič, M., Peterca, S. 2009: Brezstropa jama v Podbojevem Lazu, Rakov Škocjan. Dela 31. Ljubljana.
- Stroganova, M. N., Garasimova, M. I., Prokofieva, T. V., Mozharova, N. V. 2004: Proposals for grouping technogenic soils. International Conference on Soil Classification 2004. Petrozavodsk. Medmrežje: [http://www.itc.nl/crossiter/research/suitma/Dudal\\_6thFactor.pdf](http://www.itc.nl/crossiter/research/suitma/Dudal_6thFactor.pdf), 14. 3. 2012.
- Sufalnet 2009: Endreport on EU projet Sufalnet. Medmrežje: <http://www.endreportsufalnet.net/>, 5. 8. 2009.
- Stritih, J., Šebenič, I. 1991: Divja odlagališča odpadkov v Sloveniji. Poročilo za Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije. Zveza tabornikov Slovenije, Oikos. Ljubljana.
- Šebenič, I. 1992: Primeri uporabe GIS pri katastru odlagališč odpadkov in ocenjevanju njihove nevarnosti. Dela 9. Ljubljana.
- Šebenič, I. 1994: Pokrajinske značilnosti manjših neurejenih odlagališč odpadkov v Sloveniji. Geographica Slovenica 26-1. Ljubljana.
- Šebenič, I. 1995a: Manjša neurejena odlagališča odpadkov 1. Gre za »zajetno« podatkovno zbirko o 4459 odlagališčih po vsej Sloveniji. Delo (16. 8. 2005). Ljubljana.
- Šebenič, I. 1995b: Manjša neurejena odlagališča odpadkov 2. Kakšne so značilnosti manjših neurejenih odlagališč odpadkov po vsej Sloveniji? Delo (23. 8. 2005). Ljubljana.
- Špes, M., Bricelj, M., Drog, V., Ravbar, M., Rejec Brancelj, I., 1988: Problematika onesnaževanja okolja v Občini Ptuj. Ljubljana.
- Šušteršič, F. 1994: Reka sedmerih imen: s poti po notranjskem krasu. Logatec.
- Šušteršič, F. 2012: Intervju.
- Tarboton, D. G., Bras, R. L., Rodriguez-Iturbe, I. 1991: On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data. Hydrogeological Processes 5.
- Triglav, J. 1996: Geomatika. Mozaik merskih metod. Ljubljana.
- Triglav, M., Kosmatin Fras, M., Gvozdanovič, T. 2000: Spremljanje površja ledenikov s fotogrametrijo, študija na primeru Triglavskega ledenika. Geografski zbornik 40. Ljubljana.
- Triglav Čekada, M. 2004: Izdelava digitalnih modelov planetov s poudarkom na klinometriji. Geodetski vestnik 48-2. Ljubljana.
- Verbič, T., Gabrovec, M. 2002: Georadarske meritve na Triglavskem ledeniku. Geografski vestnik 74-1. Ljubljana.
- Vogrin, M., Sovinc, A. 1994: Gramoznice, narava in mi: problematika divjih odlagališč v gramoznicah in njihova vloga v naravi. Ljubljana.
- Vrhovšek, D., Macarol, B. 2000: Program sanacije divjega odlagališča odpadkov ob vodarni Jarški prod. Limnos. Ljubljana.



- Wall, D. K., Zeiss, C. 1995: Municipal waste degradation and settlement. *Journal of Environmental Engineering* 121. Reston.
- Waltham, A. C., Bell, F., Culshaw, M. 2005: *Sinkholes and Subsidence: Karst and Cavernous Rocks in Engineering and Construction*. Chichester.
- Yoëli, P. 1965: Analytische Schattierung. Ein kartographischer Entwurf. *Kartographische Nachrichten* 15-5.
- Zakšek, K., Kokalj, Ž., Oštir, K. 2010: Uporaba deleža vidnega neba za vizualizacijo reliefa. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2009–2010*. Ljubljana.
- Zakon o varstvu okolja 1993: UL RS 32/1993 z aneksi. Ljubljana.
- Zakon o varstvu podzemnih jam 2004: UL RS 2/2004. Ljubljana.
- ZRC SAZU 2005: DMV 12.5 (Digitalni model višin 12,5 m) Slovenije.

## 13 SEZNAM SLIK

Slika 1: Nekdanje odlagališče odpadkov v vrtači je opazno kot rahlo vbočeno površje, poraslo z drugačnim rastlinjem temnejše zelene barve (levo na sredini).	13
Slika 2: Z odpadki zasuta vrtača ima zaradi posedanja odpadkov rahlo vbočen relief.	14–15
Slika 3: Iztekanje onesnažene snovi v reko, ki je podzemno povezana s podtalnico.	16
Slika 4: Delitev tehnogenih prsti glede na antropogene vplive (prirejeno po Stroganova s sodelavkami 2004).	18
Slika 5: Primerjava med sestavo naravnih in antropogenih prsti (prirejeno po Stroganova s sodelavkami 2004).	18
Slika 6: Na aktivnem odlagališču opečnatih strešnikov se že pojavlja prvo rastlinje.	20
Slika 7: Evtrofno rastlinje na površini z odpadki zasute vrtače.	20
Slika 8: Kupi gradbenih odpadkov?	22
Slika 9: Levo je digitalni model pokrajine (tudi digitalni model površja), desno pa digitalni model reliefa (© GEOIN 2008).	26–27
Slika 10: Levo je LiDAR DMP za leto 2008 (© GEOIN 2008), desno pa fotogrametrični DMP za leto 1959.	30–31
Slika 11: Lega preučevanih območij glede na hidrogeološko zgradbo Slovenije in slovenske pokrajine.	36
Slika 12: Korozijske skledasto oblikovane vrtače so ugodne za kmetijstvo, saj je njihovo dno pokrito z ilovnatimi sedimenti in rodovitno prstjo, zato je večina med njimi tako imenovanih delanih vrtač.	38
Slika 13: Ena zadnjih povsem ohranjenih vrtač na Pustem polju, kot se imenuje osrednji del Logaškega polja.	38
Slika 14: Novo nastajajoči grezi oziroma sufozijske vrtače na Logaškem polju so ovira za strojno obdelavo kmetijskih zemljišč.	39
Slika 15: Geološka zgradba in njen vpliv na razporeditev genetskih tipov vrtač.	40
Slika 16: Tradicionalno obdelana vrtača, prilagojena strojni obdelavi, tudi oranju.	41
Slika 17: Korozijska travniška vrtača ob železniški progi, ki so jo leta 2006 začeli zasipavati z gradbenimi odpadki.	43
Slika 18: Vrtača s prejšnje fotografije je bila leta 2013 že povsem izravnana z okolico.	43
Slika 19: Prodniki in konglomerat v strugi Save.	45
Slika 20: Opuščena gramoznica, prepuščena zaraščanju.	47
Slika 21: V opuščeno gramoznico se postopoma odlagajo različni odpadki, med katerimi je največ gradbenih.	47
Slika 22: Pripravljenost Ljubljančanov in Logatčanov za plačevanje prispevka pri razreševanju problematike divjih odlagališč odpadkov.	49
Slika 23: Digitalni model površja za leto 1972 (DMP1972), narejen z avtomatskim stereoizvrednotenjem arhivskih aeroposnetkov.	54
Slika 24: Digitalni model reliefa na Logaškem polju z okolico, narejen na podlagi TTN5, iz sedemdesetih letih imenovan DMTTN5.	55
Slika 25: Digitalni model nekdanje pokrajine Ljubljanskega polja leta 1964.	57
Slika 26: Zaznavanje in prikaz vrtač na DMR1972 s poljubnimi barvnimi hipsometričnimi lestvicami.	59
Slika 27: Avtomatsko zaznavanje vrtač z uporabo avtomatske metode (angleško ridge / valley), ki relief razčleni na ravnine in grebene.	60
Slika 28: Globina vrtač v severnem delu Logaškega polja.	61
Slika 29: Izhodiščno stanje vrtač na Logaškem polju in Logaškem ravniku.	62
Slika 30: Vektorski oblak točk, ki nastane s stereoizvrednotenjem aeroposnetkov, je prekrit čez izhodiščni aeroposnetek.	64



Slika 31: Vektorski oblak točk, ki nastane s stereoizvrednotenjem aeroposnetkov, je prekrit čez rastrski DMR1959.	65
Slika 32: Gramoznice v nekdanji pokrajini – izrez z vodovarstvenega območja Kleče (Roje).	66
Slika 33: Globina gramoznic na območju Nemške ceste leta 1964.	67
Slika 34: Odlagališča odpadkov v nekdanjih gramoznicah (črtkana črna črta) na senčenem LiDAR DMR (levo) in barvnem aeroposnetku (desno).	70
Slika 35: Nekdanja odlagališča odpadkov v suhih strugah (črtkana črna črta) na LiDAR DMR (levo) in barvnem aeroposnetku (desno).	71
Slika 36: Kartografski prikaz in razporeditev izhodišč za določanje lokacij nekdanjih odlagališč odpadkov z LiDAR DMR.	74
Slika 37: Shematski prikaz določanja vrtač z primerjalno analizo reliefa v dveh časovnih obdobjih.	76
Slika 38: Območja zasutih vrtač glede na izračunane reliefne razlike med letoma 1972 in 2006.	77
Slika 39: Rastlinstvo v zasuti vrtači, kjer izstopajo evtrofne vrste s koprivo v sredini.	79
Slika 40: Naprava za merjenje električne upornosti tal, povezana z električnimi kablji, elektrodami in akumulatorjem.	82
Slika 41: Lega zasute vrtače, kjer so bile izvedene meritve električne upornosti tal.	83
Slika 42: Grafični prikaz električne upornosti tal na preseku skozi zasuto vrtačo (metoda Schlumberger).	84
Slika 43: Lega preseka glede na vzorčno gramoznico in prikaz njenega stanja v različnih podatkovnih virih.	85
Slika 44: Grafični prikaz električne upornosti tal na preseku z odpadki zasute gramoznice.	85
Slika 45: Konica pedološkega svedra z delno razkrojenimi odpadki, izvrtnimi iz zemljine.	86
Slika 46: Do 70 cm globok referenčni profil KL3 z vidnimi plastmi, brez odpadkov.	86
Slika 47: 25 cm globok pedološki profil G42 s podlago iz gradbenih odpadkov na globini manj kot 10 cm.	87
Slika 48: Pogled iz balona na suhe struge Ljubljanskega polja.	89
Slika 49: Na barvnem infrardečem posnetku (GURS 2006) so suhe struge sledljive v rdečih progah, ki označujejo območja povečane vlažnosti prsti in rastlinstva.	89
Slika 50: Določanje izhodiščnega stanja vrtač na območju gozda glede na uporabljeno metodo in razpoložljive podatke.	91
Slika 51: Razpoznavnost gramoznic leta 1959 na aeroposnetkih (zgoraj) in na iz njih izdelanem 3R modelu (spodaj).	93
Slika 52: Zasuta vrtača, kot jo lahko zaznamo na LiDAR digitalnem modelu reliefa, ki je prikazan z analitičnim senčenjem reliefa.	94
Slika 53: Kataster nekdanjih odlagališč odpadkov v vrtačah in prikaz ohranjenih vrtač na Logaškem polju in Logaškem ravniku.	95
Slika 54: Delno zasuta agrarno preoblikovana vrtača.	98
Slika 55: Reliktni humozni horizont na globini od 60 do 80 cm.	99
Slika 56: Zasuta vrtača na Logaškem polju, ki jo prerašča regrat.	99
Slika 57: Nekdanja odlagališča odpadkov na vodovarstvenih območjih vodarn Kleče in Jarški prod.	101
Slika 58: Koščki gradbenih odpadkov v krtini so izvrsten pokazatelj podzemno odloženih odpadkov.	102
Slika 59: Električna upornost tal na preseku z organskimi odpadki zapolnjene sufozijske vrtače.	104
Slika 60: Presek električne upornosti tal z odpadki (temnomodra barva) zasute gramoznice, neposredno nad podtalnico (svetlomodra barva).	104
Slika 61: Shematski prikaz 3R modela za določanje nekdanjih odlagališč odpadkov v kotanjah kraškega in obrečnega fluvialnega reliefa.	106

## 14 SEZNAM PREGLEDNIC

Preglednica 1: Merila za določanje antropogenega horizonta (Stroganova s sodelavkami 2004).	19
Preglednica 2: Shematski prikaz 3R koncepta.	24
Preglednica 3: Tehnični podatki posebnega aerofoto snemanja (PAS), Vrhnika, 1972, povzeti iz snemalnega lista številka 9 (© GURS 1972).	53
Preglednica 4: Braun-Blanquetova lestvica za pokrovnost in številčnost rastlinskih vrst.	79
Preglednica 5: Rezultati fitocenološkega popisa zasute vrtače in njegova primerjava s popisom v okolici.	80
Preglednica 6: Odnosi med reliefnimi, pedogeografskimi in fitogeografskimi značilnostmi površja, določeni s terenskim raziskovanjem.	102

## Seznam knjig iz zbirke Geografija Slovenije

- 1 Milan Natek, Drago Perko: 50 let Geografskega inštituta Antona Melika ZRC SAZU
- 2 Jerneja Fridl: Metodologija tematske kartografije nacionalnega atlasa Slovenije
- 3 Drago Perko: Analiza površja Slovenije s stometrskim digitalnim modelom reliefa
- 4 Uroš Horvat: Razvoj in učinki turizma v Rogaški Slatini
- 5 Mimi Urbanc: Kulturne pokrajine v Sloveniji
- 6 Miha Pavšek: Snežni plazovi v Sloveniji
- 7 Maja Topole: Geografija občine Moravče
- 8 Drago Kladnik, Marjan Ravbar: Členitev slovenskega podeželja
- 9 Damir Josipovič: Dejavniki rodnostnega obnašanja v Sloveniji
- 10 Irena Rejec Brancelj, Aleš Smrekar, Drago Kladnik: Podtalnica Ljubljanskega polja
- 11 Franci Petek: Spremembe rabe tal v slovenskem alpskem svetu
- 12 Aleš Smrekar: Zavest ljudi o pitni vodi
- 13 Blaž Komac: Dolec kot značilna oblika dolomitnega površja
- 14 Drago Kladnik: Podomačena tuja zemljepisna imena v slovenskih atlasih sveta
- 15 Blaž Komac, Matija Zorn: Pobočni procesi in človek
- 16 Janez Nared: Prostorski vplivi slovenske regionalne politike
- 17 Lučka Ažman Momirski, Drago Kladnik, Blaž Komac, Franci Petek, Peter Repolusk, Matija Zorn: Terasirana pokrajina Goriških brd
- 18 Matija Zorn: Erozijski procesi v slovenski Istri
- 19 David Bole: Ekonomska preobrazba slovenskih mest
- 20 Blaž Komac, Karel Natek, Matija Zorn: Geografski vidiki poplav v Sloveniji
- 21 Brigita Jamnik, Aleš Smrekar, Borut Vrščaj: Vrtičkarstvo v Ljubljani
- 22 Rožle Bratec Mrvar, Lukas Birsak, Jerneja Fridl, Drago Kladnik, Jurij Kunaver: Kocenov srednješolski atlas kot didaktična prelomnica
- 23 Bojan Erhartič: Geomorfološka dediščina v Dolini Triglavskih jezer
- 24 Drago Kladnik, Rok Ciglič, Mauro Hrvatini, Drago Perko, Peter Repolusk, Manca Volk: Slovenski eksonimi
- 25 Drago Kladnik, Drago Perko: Slovenska imena držav
- 26 Mateja Breg Valjavec: Nekdanja odlagališča odpadkov v vrtačah in gramoznicah



### **Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU**

Naslov: Gosposka ulica 13, 1000 Ljubljana, Slovenija

E-pošta: [gi@zrc-sazu.si](mailto:gi@zrc-sazu.si)

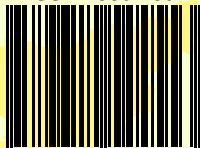
Medmrežje: <http://giam.zrc-sazu.si>

Inštitut je leta 1946 ustanovila Slovenska akademija znanosti in umetnosti in ga leta 1976 poimenovala po akademiku dr. Antonu Meliku (1890–1966). Od leta 1981 je sestavni del Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti. Leta 2002 sta se inštitutu priključila Inštitut za geografijo, ki je bil ustanovljen leta 1962, in Zemljepisni muzej Slovenije, ustanovljen leta 1946. Ima oddelke za fizično geografijo, socialno geografijo, regionalno geografijo, naravne nesreče, varstvo okolja, geografski informacijski sistem in tematsko kartografijo, zemljepisno knjižnico ter zemljepisni muzej. V njem je sedež Komisije za standardizacijo zemljepisnih imen Vlade Republike Slovenije.

Njegovi raziskovalci se ukvarjajo predvsem z geografskimi raziskavami Slovenije in njenih pokrajin ter pripravo temeljnih geografskih knjig o Sloveniji. Sodelujejo pri številnih domačih in mednarodnih projektih, organizirajo znanstvena srečanja, izobražujejo mlade raziskovalce, izmenjujejo znanstvene obiske. Inštitut izdaja znanstveno revijo *Acta geographica Slovenica*/Geografski zbornik ter znanstveni knjižni zbirki Geografija Slovenije in Georitem. V sodih letih izdaja knjižno zbirko GIS v Sloveniji, v lihih letih knjižno zbirko Regionalni razvoj, vsako tretje leto pa knjižno zbirko Naravne nesreče.

**GEOGRAFIJA SLOVENIJE 26**

ISSN 1580-1594



20 €

9 789612 544553