

# Digitalni model reliefa iz različnih podatkov



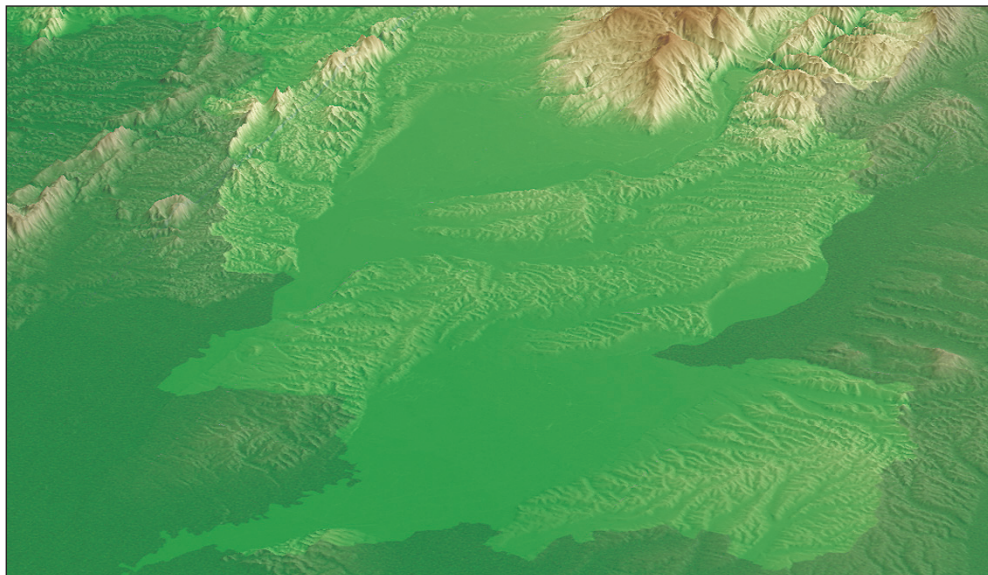
*Digitalni model reliefa Slovenije za okolico Ljubljane*

**Večina človekovih dejavnosti je povezanih s prostorom. Temelj predstavitve prostora je pomanjšan model reliefa. Digitalni model reliefa (DMR) lahko uporabimo za izdelavo večnamenske topografske karte ali z njim analiziramo osončenost in vetrne razmere za izbiro primerne lokacije nizkoenergetske hiše. Z razvojem inovativne metodologije združevanja različnih virov obstoječih podatkov smo izdelali kakovosten DMR Slovenije in okolice z ločljivostjo 12,5 m.**

*Tomaz Podobnikar*

Človek je vedno želel dobro poznati prostor, v katerem je živel, in ga iz družbeno-ekonomskega vidika čim lažje obvladovati. Sprva si je pomagal z vzpenjanjem na griče, premišljeno izbiro tras poti ali s preprostim označevanjem prostora, kasneje pa tudi z zidavo vse višjih zgradb. Izdelava pomanjšanega modela prostora, v katerem človek prebiva, je pomemben pripomoček za obvladovanje prostora. Zamisel o

izdelavi modela zemeljskega površja je stara vsaj 30.000 let in sega v čase, ko je človek pridobil sposobnosti izražanja s simboli. Ljudje so se v vizualnem smislu sporazumevali z risbami v pesku ali prsti, s postavljanjem paličic, z risanjem ali z reliefi v lesu, slonovini, kamnu ali glini, z risanjem po papirju ipd. Vizualno učinkoviti modeli so bili v primerjavi s prenašanjem sporočil z glasovi ali z mimiko ter kasneje z jezikom trajnejši in prostorsko nazornejši. Vsekakor so bili prvi prostorski modeli prej umetniška dela kot pravi kartografski prikazi ali objektivni modeli zemeljskega površja.



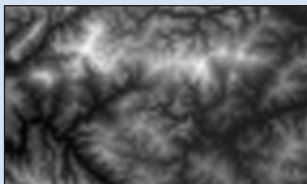
*Perspektivni pogled na severovzhodno Slovenijo pri uporabi novega DMR Slovenije*

Boljše obvladovanje vedno več prostora iz kakršnega koli vidika je danes pravzaprav temelj našega obstoja in napredka. Ob tem velja omeniti, da je rajnka Avstrija zaradi slabega poznavanja terena v drugi polovici 18. stoletja celo izgubila vojno proti Prusiji. Omenjeni vojaški poraz je bil povod za izdelavo natančnih vojaških kart, na katerih je

imela predstavitev zemeljskega površja pomembno vlogo. Za verodostojen prikaz površja je bilo pomembno obvladovanje znanja iz geometrije in kartografije. Analogne ali danes tudi digitalne topografske karte so pravzaprav pripravni ploski mediji, ki poleg drugih informacij vsebujejo pomanjšane modele reliefa.

## Kaj je digitalni model reliefa

Zamisel o izdelavi digitalnega modela reliefa (DMR) je stara skoraj toliko kot informacijska doba (ŽIT 1995/7–8; tematska priloga *Geomatika – mozaik merskih metod*) in uveljavljanje digitalnega računalništva, torej vsaj 50 let. Izraz je prvi uporabil Američan Charles L. Miller, ki je sredi 50. let prejšnjega stoletja zasnoval raziskovalno nalogo, katere cilj je bil razvoj računalniško podprtega sistema za učinkovito projektiranje avtocestne infrastrukture. DMR razumemo kot digitalni zapis oblikovanosti zemeljskega površja. Ob tem gre za predstavitev nadmorskih višin z ne-



*Zapis DMV, kjer paleta sivih vrednosti ustreza različnim vrednostim nadmorskih višin.*

pretrgano (zvezno) in pogosto gladko ploskvijo. Uveljavil se je tudi izraz digitalni model višin (DMV), v katerem so višine predstavljene v obliki pravih kvadratnih celic (rastrski ali matrični zapis). Tako pripravljen sloj je idealen za izvajanje prostorskih analiz, v katere preprosto vključujemo tudi satelitske posnetke. Pomen pojma DMR je bolj splošen in vključuje tudi druge objekte, ki opisujejo ploskev reliefa, kot so linije padnic, točke vrhov ali vrtač. Tak model lahko zapišemo v bolj zapleteno hibridno strukturo ali v nepravilno trikotniško mrežo (TIN).

## UPORABNIKI

DMR omogoča precej širši spekter uporabe, kot je uporaba topografskih kart (ŽIT 1991/11, str. 25). Danes pravzaprav izdelujejo analogne »papirnat« kartografske prikaze predvsem zato, ker smo se jih kot take naučili brati že v preteklosti in ker so bolj praktični od današnjih elektronskih zaslonov. Za bolj dinamičen prikaz so vsekakor primernejši elektronski mediji s podporo primerne programske opreme, kot so geografski informacijski sistemi, s katerimi lahko npr. površje predstavimo v različnih perspektivnih pogledih ali ga animiramo. Iz DMR lahko dobimo model senčenega zemeljskega površja, višin-



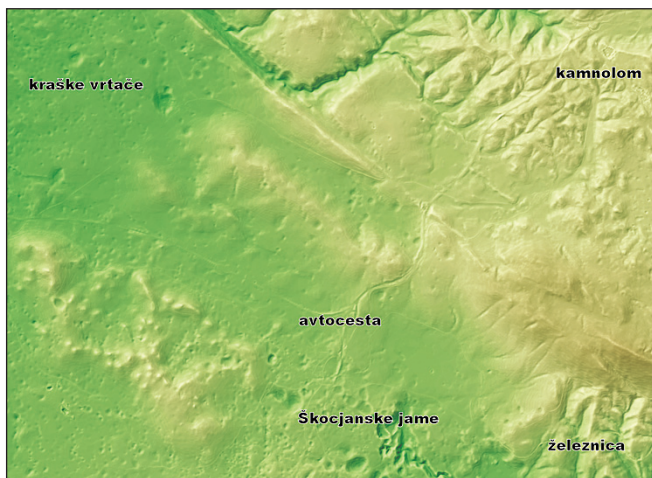
*Ljubljansko odlagališče odpadkov se zlahka opazi tako na satelitskem posnetku kot tudi na novem DMR Slovenije.*

ske barvne sloje, izohipse in naklone; identificiramo lahko vrhove ali vrtače, grebene, ježe in doline, ravnine in hribovja, rečno mrežo ali izdelamo druge sloje, ki geomorfološko ali vizualno dodatno opisujejo zemeljsko površje; DMR lahko uporabimo pri iskanju paleogeomorfoloških struktur, kot so nekdanje struge rek ali tektonske prelomnice; iz natančnega modela lahko v grobem razberemo celó geološko strukturo tal.

Ob prvih zamislih za izdelavo DMR se je porajala

predvsem njegova uporabnost za načrtovanje rabe prostora ali posegov vanj, kar je vedno bolj aktualno. Model je uporaben tudi za simulacije plazov, erozije, poplav, osončenosti, vetra, temperature, širjenja hrupa, za načrtovanje mobilne telefonije, poletov letal ali pa za pravičnejše obdavenje zemljišč in cestninjenje. Pomaga tudi pri razumevanju naravnega rastja, v kmetijstvu, zdravstvu, pri spreminjanju podnebja, izboljšavi geodetskih zbirk itd. Skratka, DMR je uporaben skorajda pri vseh naših dejavnostih v prostoru.

Po drugi strani pa lahko neodvisno od razmisleka o zmožnostih uporabe na dovolj kakovostnem DMR opazujemo človekove dejavnosti, kakršni so obsežni obrambni nasipi prazgodovinskih gradišč, in še zlasti najnovejše posege v prostor, kot so kamnolomi in peskokopi, odlagališča odpadkov, železniško omrežje z večjimi nasipi in useki ter cestno omrežje, zlasti avtoceste kot največji in hkrati tudi najbolj opazen poseg v površje. Grajeni objekti, kot so hiše, mostovi in viadukti, na DMR niso zaznavni, saj niso del zemeljskega površja. Vsekakor lahko na zelo natančnem DMR razpoznavamo detajle, ki so na običajnih topograf-



*Na novem DMR Slovenije zlahka interpretiramo nekatere naravne značilnosti površja ter hkrati opazujemo vse večje posege v prostor.*

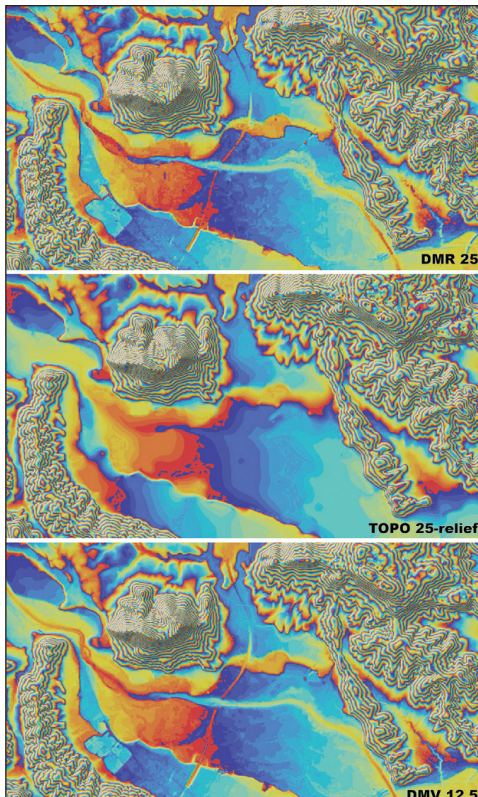
skih kartah prikazani s posebnimi simboli in ne kot del površja. Glede na opisano je model reliefa zanimiv tako za raziskovalce kot tudi za pedagoge ter navsezadnje tudi za popotnike. Uporaben je tako rekoč za vse, ki se ukvarjajo z dejavnostmi, povezanimi s prostorom.

## SLOVENSKI MODELI RELIEFA

Državni model reliefa Slovenije nastaja in se izpopolnjuje že več kot tri desetletja (ŽIT 1991/2, str. 51). Prve raziskovalne ideje o izdelavi DMR Slovenije so se začele uresničevati konec 60. let prejšnjega stoletja na Geodetskem zavodu SRS. Za prvi poskus zajema višinskih podatkov v pravilno celično mrežo štejemo izdelavo relativnega reliefa občine Domžale v merilu 1 : 150.000. V celično mrežo dimenzij 500 × 500 m so vnašali relativne višinske razlike. Pri omenjenem poskusu je šlo le za ročni zapis višin v obliko, primerno za digitalizacijo. Leta 1973 so začeli z izdelavo DMR 100 ločljivosti 100 m za vso Slovenijo. Ker se je izdelava preveč zavlekla, so se lotili manj podrobnega DMR z ločljivostjo 500 m, ki je bil dokončan ob koncu leta 1975. Žal zaradi slabe ločljivosti in netočnosti nikoli ni bil kdo ve kako cenjen in množično uporabljan.

V letih 1977 in 1978 je lastništvo DMR 100 in 500 prevzela takratna Republiška geodetska uprava. DMR 100 je bil dokončan leta 1984, do leta 1997 pa so ga izboljševali. Na začetku izdelave in deloma še leta 1984 je bil DMR 100 dosežek, vreden omembe v evropskem in svetovnem merilu. Zanj je vladalo veliko zanimanje strokovnjakov in potencialnih uporabnikov. Leta 1995 je več izvajalcev skupaj z digitalnimi ortofoti po naročilu Geodetske uprave RS začelo izdelovati fotogrametrični DMR 25, sprva kot DMR 40. Z njim so pred dobrim letom prekrili vso Slovenijo. Sloj je lahko lokalno zelo natančen, vendar geomorfološko premalo homogen za vsesplošno uporabo.

V letih 1999–2000 je bil na Znanstvenoraziskovalnem centru SAZU z radarsko interferometrijo izdelan InSAR DMV 25. Model je v povprečju manj natančen kot DMR 25, vendar je geomorfološko homogen za vso Slovenijo in ne vsebuje opaznejših grobih napak.



*Prikaz različnih modelov reliefa z bipolarnim diferenciranjem in senčenjem za območje Šmarne gore pri Ljubljani; prvi je slabši na razgibanem območju Rašice, drugi pa na območju ravnine, na katerem se dobro odraža stanje površja pred večjimi posegi v prostor, saj na njem ni videti trase avtoceste ali peskokopa v Stanežičah.*

## DMR IZ OBSTOJEČIH PODATKOV

Pomemben povod za izdelavo novega DMR Slovenije so bili uporabniki, ki so zahtevali večjo kakovost prostorskih podatkov. Ker se ob tem z ekonomskega vidika poraja problem visoke cene in dolgotrajnosti zajema takih podatkov, smo leta 1998 začeli razmišljati o DMR, ki bi bil izdelan iz obstoječih podatkov in bi hkrati pokrival tudi okolico Slovenije. V drugi polovici 90. let prejšnjega stoletja so namreč nastale obširne zbirke podatkov, večinoma različne kakovosti, ločljivosti in merila. Precej jih vsebuje informacijo o nadmorski višini ali

oblikovanosti površja, torej so potencialno uporabni za izdelavo DMR. Vsekakor so imeli pred nekaj leti omenjeni podatki lokalno ali implicitno več ali boljše informacije o reliefu kot najboljše DMR za vso državo. Na žalost ima večina zbirk grobe ali celo sistematične napake, metapodatki posameznih virov pa so težko primerljivi med seboj. Kljub temu bi bilo moč iz takih podatkov izdelati model, ki bi bil precej boljši od obstoječih – in to brez vsakršnega novega zajemanja podatkov.

Oviro pri izvedbi omenjene ideje je med drugim pomenilo uveljavljeno pravilo, ki pravi, da pri integriranju podatkov ne smemo medsebojno mešati podatkov različne kakovosti. Vseeno smo poskušali potrditi hipotezo, da je mogoče s primerno obravnavo podatkov izločiti grobe in sistematske napake ter izpostaviti najboljše lastnosti obstoječih

virov in jih integrirati v model, ki bi bil v celoti boljši od posameznega vira. Leta 2002 smo na Inštitutu za antropološke in prostorske študije Znanstvenoraziskovalnega centra SAZU izdelali prototipni DMR ločljivosti 20 m za 1/8 Slovenije. Za izdelavo smo uporabili vse primerne obstoječe podatke, tudi take, ki bi jih po prvih izkušnjah najraje zavrgli. Na podlagi zbranih ugotovitev smo v letih 2003–2005 izdelali za Slovenijo in njeno širšo okolico še natančnejši in bolj izpopolnjen DMR Slovenije z ločljivostjo 12,5 m.

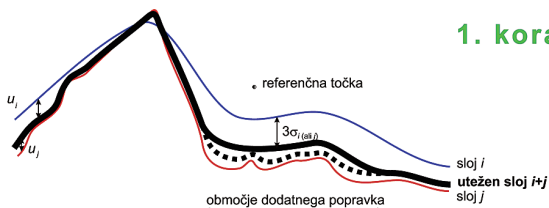
## METODOLOGIJA IZDELAVE

Izdelava DMR temelji na inovativnih pristopih, oplemenitenih z izkušnjami iz dobre prakse. Metodologija je edinstvena v svetovnem merilu in podprta v znanstvenih krogih.

Obsega štiri parcialno iterativne faze: pripravo za modeliranje, predobdelavo virov, obdelavo virov za izdelavo modela in kontrolo kakovosti. Postopek je pregleden, saj v vseh fazah izdelave poteka vsestransko preverjanje poteka izdelave različnih virov podatkov temelji na utežnem seštevanju virov z geomorfološkimi popravki. V modelu so uteži podatkov upoštewane glede na statistično testirane vires, geomorfološke lastnosti pa ob upoštevanju vizualno ovrednotenih virov. Dejansko je metodologija nekoliko bolj zapletena, saj je kombinacija utežnega seštevanja, geomorfoloških popravkov, hkratne interpolacije virov, mozaičenja podatkov ter metod za integracijo podatkov brez informacij o višinah. Tako izdelani DMR Slovenije in njene okolice je sistem, ki obsega podatke digitalnih modelov z ločljivostjo 12,5 m, 25 m in 100 m.

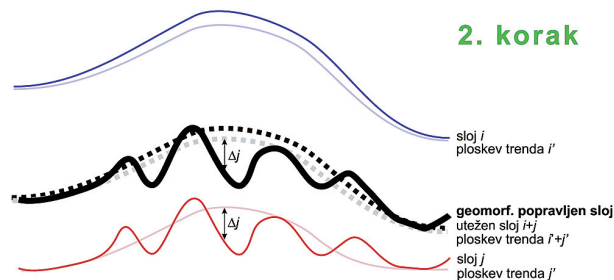
### Metoda utežnega seštevanja virov z geomorfološkimi popravki

#### 1. korak

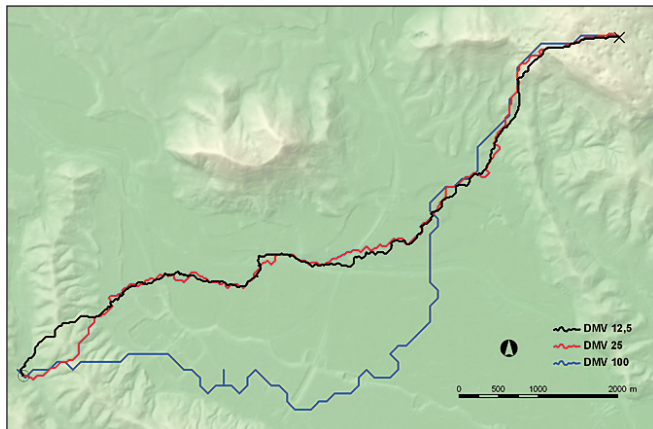


V 1. koraku upoštevamo uteži  $u_i$  in  $u_j$ , izračunani glede na poprej ovrednoteno kakovost posameznega sloja. Z utežnim seštevanjem slojev  $i$  in  $j$  izračunamo sloj  $i + j$ .

#### 2. korak



V 2. koraku poenostavimo sloje  $i$ ,  $j$  in  $i + j$  tako, da izračunamo ploskve trendov  $i'$ ,  $j'$  in  $i' + j'$ . Izračunamo razliko  $\Delta_j$  med geomorfološko boljšim slojem  $j$  in njegovim trendom  $j'$ . Dobljeno razliko  $\Delta_j$  prištejemo ploskvi trenda  $i' + j'$  in dobimo geomorfološko popravljen utežen sloj DMR.



*Simulacija izbrane težavnosti optimalne poti glede na različno ločljivost 12,5, 25 in 100 m DMR Slovenije med namišljenima točkama izpod Slavkovega doma in Rašice; kakšen DMR je pravi za primerno rešitev naše naloge?*

## VIRI ZA IZDELAVO

Potencialni viri za izdelavo DMR so vsi, ki vsebujejo trirazsežne podatke o površju, poleg tega pa tudi dvorazsežni podatki, ki dodatno opisujejo oblikovanost zemeljskega površja, kot sta rečno ali cestno omrežje. V DMR Slovenije je bilo vključenih več kot 25 različnih virov, zajetih od leta 1947 dalje, in sicer modeli reliefa z ločljivostjo od 10 do 600 m, digitalizirane izohipse in sloji cest različnih meril, geodetske točke ipd. Če smo natančnejši, gre za TOPO 25-relief, -hidrografija, -ceste, -železnice (zbirka topografskih podatkov za Državno topografsko karto v merilu 1 : 25.000), DTK 5-relief, -hidrografija, -ceste, -zemljišča v posebni rabi, -vegetacija (zbirka topografskih podatkov za izdelavo kart v merilu 1 : 5000), DMR 100 (model reliefa z ločljivostjo 100 m), DMR 25, DMR 10 slovenske obale, geodetske točke, zemljiškokatastrske točke, točke državne meje, točke in poligoni iz Katastra stavb; vsi naštetih podatki so last Geodetske uprave RS. Nadalje so bile uporabljene vektorizirane izohipse Triglavskega narodnega parka, DMR 10 Mestne občine Ljubljana, SRTM 90 ter GTOPO 30 kot globalna modela reliefa z United States Geological Survey. Uporabili smo tudi podatke Evidence rabe zemljišč Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in pre-

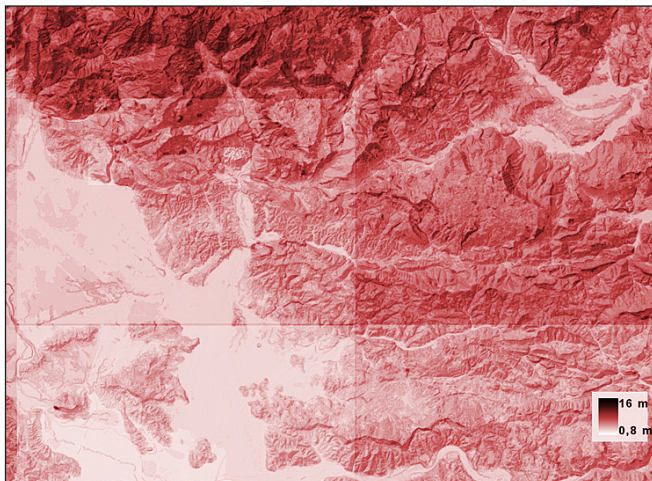
hrano, rabo tal, ki jo je pripravil Znanstvenoraziskovalni center SAZU ter pokrovnost tal CLC 2000 z Ministrstva za okolje in prostor. Že iz tega seznama je mogoče sklepati, da gre glede na kakovost, format zapisa, kartografsko projekcijo ipd. za precej nehomogeno zbirko.

## ZNAČILNOSTI

Največja prednost novega DMR Slovenije je odprtost v smislu možne učinkovite nadgradnje z novimi viri podatkov. Ob tem lahko z razmeroma nizkimi stroški dosežemo še večjo kakovost modela. Nezanemarljiv proizvod izdelave modela so natančno in celovito ovred-

## Bistvene značilnosti novega DMR Slovenije:

- uporabljeni so bili obstoječi podatki brez zamudnega in dragega zajema,
- kontrola kakovosti je bila pregledna, pri čemer so bile vizualne in druge geomorfološke kontrole kakovosti enakovredne statističnim,
- skupaj s kontrolo kakovosti so bile opravljene grobe in sistematske napake vseh uporabljenih virov,
- metodologija izdelave omogoča vzdrževanje modela z novimi viri podatkov glede na natančno ovrednoten izdelan model z znanimi spremembami površja v preteklosti,
- ocenjena natančnost modela je 3,2 m za območje vse Slovenije (1,1 m za ravnine, 2,3 m za gričevja, 3,8 m za hribovja in 7,0 m za gorovja) pri ločljivosti 12,5 m,
- model pokriva tudi okolico Slovenije s skupno površino 55.087,5 km<sup>2</sup>, kar je 2,7-kratna velikost Slovenije; obsega več kot 353 milijonov točk, kar je 11-krat več od prejšnjega najboljšega modela reliefa Slovenije.



*Ovrednotena kakovost DMR Slovenije kot sloj za izračun uteži  $u_i$  pri utežnem seštevanju z novimi podatki o reliefu, ki bodo zajeti v prihodnje; na sliki je prikazano območje severno od Ljubljane.*

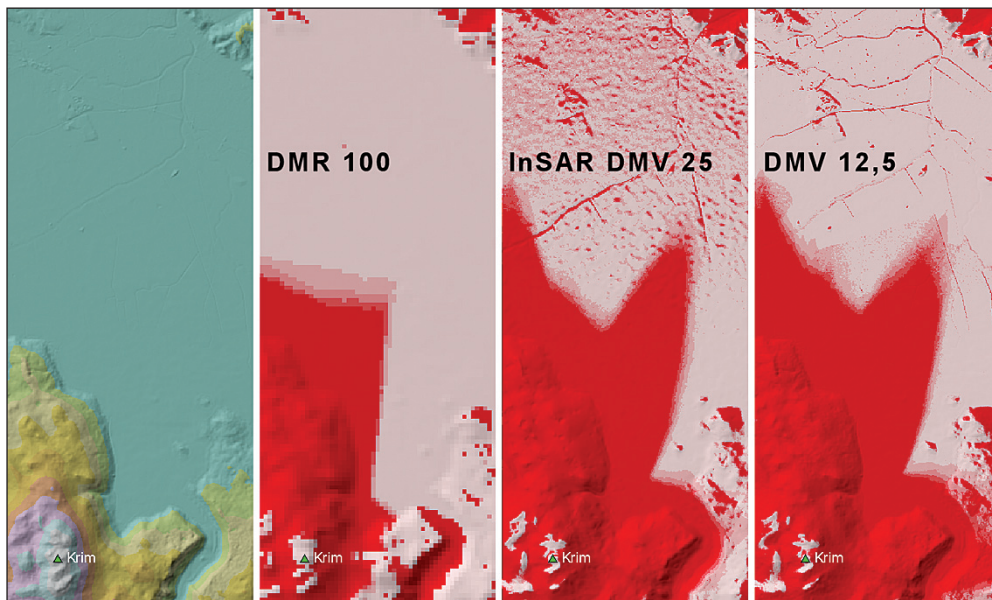
noteni ter popravljeni viri podatkov, uporabljenih pri izdelavi. Pri izdelavi DMR smo dobili kar nekaj stranskih proizvodov, ki omogočajo izboljšanje obstoječih zbirk podatkov. Med drugim smo izpopolnili vektorizirane izohipse Državne topografske karte merila 1 : 25.000. Odpravili smo okoli 7000 napak izo-

hips, ki so nastale večinoma pri digitalizaciji, ter več kot 200 napak, prisotnih že na obstoječih kartah. Identificirali smo napake položajev ali višin geodetskih in drugih podatkov. Vsekakor je bil vsak izmed več kot 25 slojev, ki smo jih uporabili, ovrednoten in izboljššan.

## VZDRŽEVANJE

Vzdrževanje DMR Slovenije sloni na natančnih metapodatkih o kakovosti posameznih izdelanih območij modela, pridobljenih med izdelavo. Glede na to vedenje se lahko odločamo med

vključitvijo novih podatkov, ki jih sproti pridobivamo in so nam na razpolago, ter med novim, načrtnim zajemom podatkov na območjih, kjer je DMR slabši od zahtevane kakovosti. Vsekakor moramo vse nove vire pred uporabo ovrednotiti in jih po potrebi popraviti. Pomemben produkt izdelave



*Monte Carlo simulacije vidnosti z oddajnika na Krimu glede na ovrednoteno kakovost posameznih slojev; take simulacije so dodatno orodje pri celovitem vrednotenju značilnosti in kakovosti slojev modelov reliefa.*

DMR so metapodatki območij potencialne natančnosti modela reliefa, ki povedo, kateri deli modela reliefa so slabše kakovosti, ter metapodatki območij, kjer se potencialno hitro spreminja zemeljsko površje, kot so kamnolomi in gramoznice, smetišča, območja gradnje avtocest ipd.

Tehnologija zajema podatkov o reliefu se hitro izboljšuje, hkrati pa postaja cenejša. V naslednjih letih pričakujemo več natančnejših in podrobnejših podatkov reliefa. Omeniti velja razvoj tehnologije laserskega skeniranja, pri čemer t. i. LiDAR (ŽIT 2005/5. str. 39) omogoča zajem podatkov površja z natančnostjo nekaj 10 cm ali manj. Hkrati z ortofotom kot glavnim virom topografskih podatkov Slovenije nastaja tudi DMR 25. Ta mora biti na razgibanih območjih precej podoben, da lahko zajamemo podatke zadovoljive položajne natančnosti.

Razvita metodologija omogoča učinkovito integracijo katerih koli podatkov o reliefu, ki bodo zajeti v prihodnje. Nadaljnji razvoj izdelave DMR Slovenije je odvisen predvsem od želja in zahtev potencialnih uporabnikov, razvoja tehnologije in znanja ter posluha in (z)možnosti ponudnikov. Velja poudariti, da je lahko vsak model reliefa dober za izbran namen uporabe, kakovosten model pa je primeren skorajda za vsakršno rabo. Z novim modelom reliefa Slovenije ločljivosti velikosti povprečne stanovanjske hiše se lahko po treh desetletjih zagotovo spogledujemo z dosežki razvitejših držav – in to ne le po inovativnem znanju, temveč tudi po temeljiti izdelavi, kakovosti, uporabnosti in plemenitosti izdelka.

<http://...>

[iaps.zrc-sazu.si/index.php?q=/node/70](http://iaps.zrc-sazu.si/index.php?q=/node/70) (Digitalni model reliefa Slovenije 12,5 m)

[www.gu.gov.si/gu/podatki/Topograf/DMV/DMV.asp](http://www.gu.gov.si/gu/podatki/Topograf/DMV/DMV.asp) (Geodetska uprava RS, digitalni modeli višin)

[srtm.usgs.gov](http://srtm.usgs.gov) (Shuttle Radar Topography Mission)

[glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi](http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi) (Earth Science Data Interface)

[earth.google.com](http://earth.google.com) (Google Earth)

[www.visualizationsoftware.com/3dem.html](http://www.visualizationsoftware.com/3dem.html) (3DEM, Terrain Visualization and Flyby Animation)

[www.landserf.org](http://www.landserf.org) (LandSerf)

svet  
ELEKTRONIKE

brezplačni izvod  
[www.svet-el.si](http://www.svet-el.si)

U N R  
S A S  
B 2 3 2

Cena:  
8.900,00 z ddv.

USB

adapter



USB NA RS-232

Če nimate RS-232 konektorja, si ga lahko ustvarite sami. Z nakupom adapterja, boste iz vašega USB konektorja, dobili nov RS-232 vhod.

popusti v mavrični akciji  
vsak mesen drugi artikli



AX elektronika d.o.o.  
Pot heroja Trtnika 45, 1261 Ljubljana-Polje  
tel.: 01 549 14 00, fax: 01 528 56 88  
e-mail: prodaja04@svet-el.si  
internet: www.svet-el.si