U N I V E R Z A V L J U B L J A N I

FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

D O K T O R S K A D I S E R T A C I J A

št. 140

Kandidat:

TOMAŽ PODOBNIKAR

Naslov naloge:

DIGITALNI MODEL RELIEFA IZ GEODETSKIH PODATKOV RAZLIČNE KAKOVOSTI

Temo doktorske disertacije je odobril Senat Univerze v Ljubljani na 14. seji dne 15. maja 2001 in za mentorja imenoval izr. prof. dr. Zorana Stančiča ter za somentorja prof. dr. Karla Kruasa.

Ljubljana, september 2001

Komisijo za oceno ustreznosti teme doktorske disertacije v sestavi

izr. prof. dr. Zoran Stančič
prof. dr. Karl Kraus
dr. Drago Perko
izr. prof. dr. Radoš Šumrada

je imenoval Senat Fakultete za gradbeništvo in geodezijo na svoji 10. redni seji
dne 20. septembra 2000

Komisijo za oceno doktorske disertacije v sestavi

izr. prof. dr. Zoran Stančič, mentor
prof. dr. Karl Kraus, sometor
izr. prof. dr. Radoš Šumrada
dr. Drago Perko

je imenoval Senat Fakultete za gradbeništvo in geodezijo na svoji 2. redni seji
dne 27. junija 2001

Komisijo za zagovor doktorske disertacije v sestavi

dekan prof. dr. Jurij Banovec, predsednik komisije
izr. prof. dr. Zoran Stančič, mentor
prof. dr. Karl Kraus, sometor
izr. prof. dr. Radoš Šumrada
dr. Drago Perko

je imenoval Senat Fakultete za gradbeništvo in geodezijo na izvensejnem
glasovanju dne 17. septembra 2001

Podpisani **Tomaž PODOBNIKAR** izjavljam, da sem avtor doktorske disertacije z naslovom: »**DIGITALNI MODEL RELIEFA IZ GEODETSKIH PODATKOV RAZLIČNE KAKOVOSTI**«.

Ljubljana, 19. septembra 2001

Vsem mojim

»Najbolj nerazumljiva stvar na svetu je, da je svet sploh razumljiv.« (Albert Einstein)

Nov doprinos k znanosti in kakovostnejšemu vsakdanjiku? Zagotovo nov drobec na odpadu prihodnosti!

PREDGOVOR

Pri izdelavi diplome in na podiplomskem študiju Univerze v Ljubljani sem začel spoznavati zelo zanimivo področje geografskih informacijskih sistemov (GIS). GIS omogoča raznovrstne analize v prostoru in učinkovite vizualne prikaze na osnovi digitalnih podatkov, zapisanih v obliki podatkovnih slojev. Eden najpomembnejših potencialnih slojev za analize v GIS je digitalni modela reliefa (DMR). V doktorski disertaciji sem se osredotočil prav na izdelavo kakovostnega DMR. Učinkovitost analiz v GIS je namreč zelo odvisna od kakovosti DMR.

V Sloveniji imamo za seboj tudi precej »neplodnih« let pri izdelavi primernega DMR za vso državo. Obstoječi podatki v mojem primeru niso zadovoljevali vseh potreb in želja po kakovostnih analizah, zato so me vedno znova navajali k izboljševanju obstoječih DMR. Vse večja količina digitalnih geodetskih podatkov s prostorskimi koordinatami različne kakovosti ter razni lokalni digitalni modeli višin so napeljevali na njihovo uporabo za izdelavo kakovostnega DMR. Prednost tovrstnega modeliranja bi bila lahko predvsem v tem, da podatkov za izdelavo DMR sploh ne bi bilo treba dodatno zajemati, o čemer je razmišljal tudi Marjan Podobnikar z Geodetske uprave RS. Vse to me je vzpodbudilo k študiju digitalnih modelov reliefa. Pri tem sta me podprla mentor izr. prof. dr. Zoran Stančič, Znanstvenoraziskovalni center SAZU, ki je trenutno zaposlen kot državni sekretar na Ministrstvu za znanost, šolstvo in šport RS ter somentor prof. dr. Karl Kraus, predstojnik Inštituta za fotogrametrijo in daljinsko zaznavanje na Tehniški univerzi na Dunaju.

Pri študiju digitalnih modelov reliefa sem se zavedal, da se spuščam na področje, ki ga vsi tisti, kateri se vsaj malo ukvarjajo s problematikami v zvezi s prostorom, vsaj nekoliko obvladujejo. Pri tem pa ima praktično vsakdo izmed njih izdelano lastno idejo o uporabi, strukturi in »naravi« modela. Poleg tega se s tem področjem v svetu ukvarja veliko raziskovalnih institucij in podjetij. Dostopnih je veliko število člankov, ki opisujejo posamezne tehnike in problematiko modeliranja DMR. Najpogosteje je problematika DMR vključena v besedila na temo geografskih informacijskih sistemov, in sicer kot posebnih slojev za prostorske analize. V povezavi s fotogrametrijo so opisane predvsem tehnike fotogrametričnega zajema, obdelave podatkov in metode interpolacij. V zvezi s kakovostjo prostorskih podatkov je DMR pogosto naveden kot sloj, s pomočjo katerega je možno uspešno uporabiti in razvijati nekatere metode. Zanimivo pri tem pa je, da sa-

mostojnih monografij o DMR, razen nekaj skript, praktično ni. Kljub vsemu pa sta pred desetimi leti v Sloveniji M. Rihtaršič in Z. Fras izdala knjigo o DMR.

V okviru teoretičnih raziskav o možnostih kombiniranja obstoječih podatkov za modeliranje digitalnega modela reliefa sem se najprej prepustil lastni domišljiji. Pri tem sem odkril in »odkril« precej novih možnosti. Ko sem se pošteno lotil študija literature s področja digitalnih modelov reliefa, se je po pričakovanju izkazalo, da je precej takih »odkritij« že znanih in umeščenih v podobne metode, kot sem jih sam predlagal. V takih primerih sem lahko koncept izdelave DMR še enostavneje in učinkoviteje nadgradil.

Med praktičnem poskusom uporabe raznih obstoječih geodetskih podatkov sem že na začetku naletel na veliko oviro. Prepričan sem bil, da imamo v Sloveniji srečo, ker je na razpolago relativno veliko tovrstnih kakovostnih digitalnih podatkov. Izkazalo pa se je, da so ti podatki neprimerno manj kakovostni od pričakovanj. Sledila je glavna preokupacija na iskanje metod za čim enostavnejše in učinkovitejše odpravljanje grobih (in nekaterih sistematskih) napak. Pri tem sem želel izvajati čim bolj avtomatizirane postopke. Nadalje se je začelo zapletati pri izvedbi dejanskih poskusov s primernimi programi za obdelavo DMR. Kljub vsemu pa so kazali uspešni poskusi vzpodbudne rezultate pri modeliranju kakovostnega digitalnega modela reliefa in me s tem vedno znova priganjali k nadaljevanju raziskav.

Med izdelavo doktorske disertacije sem se naslanjal na mnoge podatke in informacije, ki so mi izdatno pomagale. S koristnimi in opaznimi doprinosi ter z nič manj pomembnimi drobci so mi pomagali mnogi posamezniki in ustanove. Vsem se od srca zahvaljujem in sem jim hvaležen za vse, kar so mi nudili. Ob tem se posebej zahvaljujem izr. prof. dr. *Zoranu Stančiču* za strokovno podporo in nenehne vzpodbude, kakršne zna dati le on. Prof. dr. *Karl Kraus* mi je v letih 1999 in 2000 omogočil opravljanje dela poskusov v najboljšem okolju Inštituta za fotogrametrijo in daljinsko zaznavanje Tehniške univerze na Dunaju ter mi pomagal pri nekaterih pomembnih odločitvah v disertaciji. Dr. *Drago Perko* je temeljito pregledal disertacijo in predlagal obilo koristnih pripomb predvsem z vidika geografa in analitika DMR, izr. prof. dr. *Radoš Šumrada* pa je pristavil nezanemarljive opazke, ki se nanašajo na geodetsko stroko, geografske informacijske sisteme ter na kakovost podatkov.

Zahvaljujem se tudi celotni skupini na Inštitutu za fotogrametrijo in daljinsko zaznavanje Tehniške univerze na Dunaju (Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien), posebej pa dr. *Laszlu Molnarju* za tehnično pomoč in uporabno »filozofiranje« na temo DMR, dr. *Davidu Heitzingerju* za pripravljenost na sodelovanje pri testiranju in vključevanju novih idej v modul za iskanje značilnih črt in točk na osnovi TIN ter *Norbertu Pfeiferju* za lažjo izvedbo poskusov na temelju metode grobe ocene in za udobnejše bivanje na Dunaju.

Med »Dunajčani« mi je dr. *Robert Ecker* pojasnil njegovo idejo o kombiniranju posameznih DMR različne kakovosti, dr. *Wolfgang Rieger* pa mi je pomagal pri analizah hidrološke mreže v okviru DMR. G. *Michael Franzen* s sodelavci mi je organiziral zanimiv celodnevni program na Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV), kjer so mi predstavili dejavnosti na področju upravljanja avstrijskega DMR.

K izboljšavi kakovosti disertacije je pripomogel *Sandi Berk*, in sicer s koristnimi predlogi o poimenovanju nekaterih pojmov v zvezi z modelom reliefa ter z revizijo predv-

sem tistih delov disertacije, ki se tičejo klasične geodezije. Mag. *Juhi Oksanenu* s Finskega geodetskega inštituta (Suomen geodettinen laitos) v Helsinkih, se zahvaljujem za posredovanje njegovih idej in člankov o algoritmih za interpolacijo DMV iz plastnic na primeru izdelave finskega modela reliefa. Pomembno literaturo s področja DMR sta mi lastnoročno posredovala tudi dr. *Klaus Tempfli* z nizozemskega ITC in dr. *Mike F. Hutchinson* z Avstralske nacionalne univerze (Australian National University) v Canberri. Prof. dr. *Anders Östman* s Tehniške univerze v kraju Luleå na Švedskem (Luleå tekniska universitet) pa mi je posredoval članke s področja kontrole kakovosti DMR.

G. *Alešu Seliškarju*, direktorju Geodetske uprave RS sem hvaležen, da mi ni postavljal ovir pri začetkih podiplomskega študija. *Jurij Mlinar* mi je izdatno pomagal pri pridobitvi podatkov za izdelavo DMR, pri preverjanju njihove pravilnosti ter pri izboljšavah opisa podatkov, ki se tičejo Geodetske uprave RS. *Mateja Gabrovšek* mi je posredovala podatke višin trigonometričnih točk, postavljenih na zemeljsko površje, *Barbara Sever* pa koristne splošne informacije o geodetskih točkah. Z mag. *Daliborjem Radovanom* in *Mojco Kosmatin Fras* z Geodetskega inštituta Slovenije smo v okviru načrta za izdelavo novega DMR Slovenije plodno debatirali o realizaciji.

Zelo sem vesel, da mi je vsa angleška besedila podrobno in strokovno korigiral dr. *Vince Gaffney* (University of Birmingham Field Archaeology Unit), ki je bil gost Prostorsko-informacijskega centra SAZU v letu 2001. Mag. *Aleksandra Bizjak* mi je slovnično izboljšala najpomembnejše dele slovenskega besedila, mag. *Helena Majcenovič* pa mi je svetovala pri razčiščevanju problematičnih strokovnih in marsikaterih drugih izrazov ter slovnično izboljšala marsikatero misel.

Znanstvenoraziskovalnemu centru SAZU gre zahvala za podelitev Mršičeve štipendije, ki mi je olajšala študij na Tehniški univerzi na Dunaju, posebej pa direktorju dr. *Otu Lutharju* za podporo pri dejavnostih v sklopu študija, dobri zrcjevski mami *Alenki Koren* za vse »malenkosti« in *Urošu Parazajdi* za rešitev nerešljivih problemov z računalniki. Najlepša hvala tudi vsem sodelavcem Prostorskoinformacijske enote. Pri tem se še posebej zahvaljujem dr. *Krištofu Oštirju* za vsestransko pomoč, »optimizacijo« stavkov in za kopico uporabnih pobud pri izdelavi disertacije ter *Tatjani Veljanovski*.

Na koncu, vendar pa ne najmanj, gre zahvala organizacijam in posameznikom, ki so mi omogočili uporabo podatkov, brez katerih ne bi bilo rezultatov praktičnega dela disertacije. *Geodetska uprava Republike Slovenije* (g. Aleš Seliškar) mi je z dopisom št. 90101-1/2001-2 z dne 25. 1. 2001 dala dovoljenje za uporabo velike količine podatkov iz mnogih zbirk. Uporabil sem tudi del DMR 10 mesta Ljubljane, ki so mi ga dali na razpolago na *Mestni občini Ljubljana*, Mestna uprava, Oddelek za stavbna zemljišča (g. Borut Lenardič, ga. Biserka Cizar), z dopisom št. 466-1721/2000-BC/TČ/SAZU z dne 1. 3. 2000. S *Triglavskega narodnega parka* (g. Jurij Dobravec) sem dobil v začetku marca 2000 v uporabo vektorizirane plastnice TTN 5 za območje okolice Triglava. Na *Hidrometeorološkem zavodu Republike Slovenije* (g. Damjan Rogelj, mag. Marjan Bat) so mi dali na razpolago zbirko razvodnic za dve testni območji z dopisom št. 932-79/99 z dne 21. 4. 1999. Na *Družbi za avtoceste v Republiki Sloveniji, d. d.* (mag. Janez Božič, dr. Tomaž Vidic) pa so mi z dopisom št. 402-26/01-TV z dne 8. 8. 2001 (vir: PGD, PZI projekt AC Vučja vas – Beltinci; izdelovalec Lineal, d. o. o. /projekt št. 305/99, oktober 1999/) omogočili uporabo podatkov za načrtovanje avtocest pri študiju o izboljšavah DMR. Podrobni opisi naštetih virov so navedeni v dodatku C.

Največja zahvala gre mojim staršem za podporo in potrpežljivost v času mojega podiplomskega študija.

V Ljubljani, 21. 8. 2001 Tomaž Podobnikar

POVZETEK

Digitalni model reliefa iz geodetskih podatkov različne kakovosti

UDK 528:91:[659.2:004](043.3)

Ključni pojmi: digitalni model reliefa, višine, geografski informacijski sistem, kontrola kakovosti, statistične analize.

Oblikovanost zemeljskega površja je lahko opisana z modelom, zapisanim z zveznimi in pogosto gladkimi ploskvami. Ploskve so določene s končno množico višin, izmerjenih glede na srednji nivo morja. Še pred štiridesetimi leti so bili taki modeli analogni, danes pa jih poznamo kot digitalne modele reliefa (DMR). Temeljna načela zajemanja, shranjevanja, vzdrževanja, upravljanja, prostorskih analiz, vizualizacij in vključevanja DMR v druge sisteme so znana. Kljub vsemu se odpirajo nove tehnološke možnosti, ki omogočajo izboljšave DMR.

Med tehnološkimi izzivi za izdelavo DMR so vedno večje količine raznovrstnih digitalnih podatkov, ki lahko vsebujejo veliko semantičnih informacij o oblikovanosti površja. Kljub veliki količini informacij se tak konglomerat podatkov na splošno ne zdi primeren za izdelavo DMR. Problemi so predvsem v nehomogeni kakovosti, uporabi različnih metod in standardov pri ocenah kakovosti ter v topoloških strukturah, neprimernih za modeliranje ploskev površja. Različna kakovost podatkov je predvsem posledica načina zajema, ki je lahko neposreden, še pogosteje pa posreden iz generaliziranih analognih virov. Zaradi različnih metod ocene kakovosti lahko naletimo na nepričakovane grobe in sistematske napake. Gospodarno izdelavo in visoko kakovost DMR omogočajo z aplikativnimi poskusi podprte rešitve omenjenih težav, kakršne so obravnavane v disertaciji. Hipoteza disertacije je, da je možno podatke različnih virov brez dodatnega zajema uporabiti kot osnovo pri izdelavi DMR visoke kakovosti.

V prvem delu disertacije so opisane ideje modeliranj reliefa, od analognih do digitalnih tehnik. Podrobneje so analizirani DMR Slovenije, od začetkov pri DMR 100 do najnovejšega InSAR DMV 25, skupaj z lokalnimi modeli reliefa. Navedene so možne aplikacije DMR ter kronološko opisana dejanska uporaba DMR v Sloveniji. Pregled posameznih DMR je osnova za ovrednotenje možnosti izdelave DMR na primeru Slovenije. V ta namen je bila analizirana uporaba DMR in obstoječi anketi. Preučeni so bili rezultati predhodnih slovenskih analiz DMR ter analizirane vizije in usmeritve v svetu. S pomoč-

jo raziskave v prvem delu so bili definirani natančnejši osnovni teoretični in aplikativni cilji.

Teoretične osnove disertacije se naslanjajo na elemente modeliranja DMR. Elementi so obrazloženi glede na podrobno definicijo DMR, ki se nanaša na objekte podatkov, informacije o strukturi, zvezne funkcije, informacije o kakovosti in na metode za analizo implicitnih informacij. Zapis podatkov vsebuje višine točk in drugih elementov, ki podpirajo model. Sledi razprava o zajemu podatkov ter ločljivosti in merilu. Med informacijami o strukturi DMR so opisane vektorska, rastrska, TIN in hibridna struktura. V odvisnosti od namena uporabe in razpoložljivosti virov ima vsaka izmed struktur določene prednosti. Množica zveznih funkcij opisuje ploskev reliefa glede na vire podatkov pri uporabi interpolacijskih metod. S poudarkom na različnih virih so ovrednotene interpolacijske metode za predobdelavo in obdelavo DMR. V odvisnosti od tipa zveznih funkcij so opisane nekatere tehnike za izboljšanje ploskve površja ter transformacija podatkov iz drugih koordinatnih sistemov v slovenskega državnega. Informacije o kakovosti temeljijo na abstrakciji DMR glede na področje obravnave. Opisan je koncept natančnosti, točnosti, napak in nedoločljivosti. Za pridobivanje informacij o kakovosti virov in DMR je sistematično opisano tudi veliko število statističnih in vizualnih tehnik. Med mnogimi metodami za analizo implicitnih informacij sta podrobneje opisani samodejno senčenje in izdelava plastnic reliefa.

Najpomembnejši del disertacije temelji na dveh metodah izdelave DMR. Prva je metoda hkratne interpolacije virov, druga pa metoda utežnega seštevanja virov. Obe se naslanjata na pripravo za modeliranje ter na dobro poznavanje virov in teorije modeliranja DMR kot prvih korakov pri izdelavi DMR. Sledi predobdelava, obdelava in upravljanje z DMR. Predobdelava virov temelji na podrobni vizualni in statistični kontroli kakovosti virov, podprti s samodejnimi regionalizacijami. Pri tem dobimo statistično in geomorfološko popravljene in izboljšane podatke. Obdelava s prvo metodo, temelječo na hkratni interpolaciji vseh virov, upošteva uteži in gostoto posameznih virov podatkov. Druga metoda narekuje manj obdelave kot prva in temelji na pripravi vsakega vira s točno metodo interpolacije v celično mrežo enotne ločljivosti. Osnovni DMR je izdelan z mozaičenjem najbolj homogenih virov. Ob upoštevanju uteži, oblikovanosti površja in vertikalnega odstopanja od referenčnih točk so nato z zaporednim prekrivanjem, drug prek drugega, upoštevani vsi sekundarni viri.

Uporabljene tehnike izdelave DMR so bile preverjene po posameznih korakih obdelave s spremljanjem parametrov kakovosti. Podatki, uporabljeni po testnih območjih, so karseda objektivno opisovali vsak del Slovenije. Zadnji del disertacije obravnava možnosti učinkovitega upravljanja s podatki o reliefu – z viri, DMR in drugimi izdelki. V ta namen je predstavljena zbirka digitalnih podatkov reliefa (ZDPR).

Hipotezo disertacije potrjujejo statistične in vizualne analize kakovosti, temelječe na izdelkih obeh predlaganih metod izdelave DMR. Rezultati omenjenih analiz napovedujejo statistično in geomorfološko-vizualno kakovostnejšo ter na učinkovitejšo izdelavo DMR Slovenije od do sedaj najboljših. Za vso Slovenijo je realno pričakovati povprečno vertikalno natančnost okoli 3,5 m ali manj. Pomembni dodatni proizvodi koncepta izdelave DMR so samodejno izdelane plastnice ter skelet in sence reliefa. Med stranske izdelke pa spada pridobitev parametrov kakovosti ter odprava nekaterih grobih in sistematskih napak uporabljenih geodetskih zbirk.

ABSTRACT

Digital Terrain Model from Various Data Sources of Different Quality

UDC 528:91:[659.2:004](043.3)

Keywords: digital terrain model, surface, heights, geographical information system, quality control, statistic analyses.

The form of the Earth's surface can be described with a model, recorded as continuous and usually smoothed surfaces. Surfaces are defined with a finite set of heights, measured with regard to mean sea level. Such models were in analogue form until forty years ago, but today are known as digital terrain models (DTMs). Basic principles for the management, acquisition, recording, updating, spatial analyses, visualisation, and integration of such models with other systems are well known. Despite this, new developments provide the opportunity for the improvement of DTM modelling.

One of technological challenges of the DTM production is the ever larger amount of digital data now available, which generally contains much semantic information about surface geomorphology. Despite this large amount of information, generally the mass of data does not seem useful for DTM production. Problems with such data mostly lies in its quality which is non-homogeneous, different methods and standards used for quality estimation and topological structure, making it unsuitable for terrain surface modelling. Different data quality is mainly an outcome of the method of acquisition, which can be directly or more frequently, indirectly acquired from generalised analogue data sources. Different estimation methods can cause unpredictable gross and systematic errors. Possible solutions for these problems, confirmed through applied experimentation, enable cost-effective and high quality production. The hypothesis of the thesis is that these data sources could be used as a basis for high quality digital terrain model production without the requirement of additional data.

In the first part of this thesis, the review of terrain modelling ideas from analogue to digital techniques is provided. Slovene digital terrain models from 'DMR 100' to 'InSAR DMV 25' including local models are presented more detail. A review of possible DTM applications and previous applications in Slovenia is also presented chronologically. General revision has been the basis for the evaluation of potential DTM production for the Slovene case study. For that reason DTM usage and two public polls were

studied. The results of previous analyses of Slovene DTMs were examined, and approaches from elsewhere in the world considered. More detailed primary goals, scientific and applied, were defined from this research.

The scientific basis of the thesis relies on the study of specific elements of DTM modelling. Elements were described on the basis of detailed DTM definition, which include data objects, structural information, continuous functions, quality of information, and methods for implicit information analysis. Data objects describe point height data and other elements that support the model. Data acquisition, including resolution and scale is also discussed. Structural information including vector, raster, TIN, and hybrid structures for DTMs were evaluated. Every structure has particular advantages with regard to usage and data availability. Segments of continuous functions describe the terrain surface according to data source assisted by interpolation methods. Pre-processing and the processing interpolation methods for DTMs were evaluated, particularly for the variable data sources case study. With reference to particular continuous functions, some techniques of surface improvement were described, and the transformation of terrain surfaces from specific to Slovene coordinate systems was outlined. For quality information, DTM abstraction was formed, regarding universe of discourse values. Concepts of precision, accuracy, error, and uncertainty were established. A large set of statistical and visual techniques for source and DTM quality evaluation were evaluated. Automatic hillshading and contouring were chosen for description from existing methods for deriving implicit information.

The main part of the thesis is devoted to two DTM production methods. The first method is that of simultaneous sources interpolation. The second is the weighted sum of sources. Both methods rely on substantial knowledge of used sources and the theory of DTM modelling. Further stages of DTM production were divided into pre-processing, processing, and management of DTM data. Pre-processing is based on detailed visual and statistical quality control of sources, supported by automatic regionalisation. Data was also statistically and geomorphologically corrected and improved. Processing with the first method, based on linear prediction interpolation of all sources together, considered the weights of particular data sets and data density. The second method needed less pre-processing then the first. It is based on preparation of each source with adequate interpolation to grid format with a uniform density. Selection of the most homogeneous sources in Slovenia was carried out and used for mosaicing a base DTM. All secondary sources were overlaid successively, one by one, with respect to weights, geomorphology, and threshold of reference points.

The techniques employed for DTM production were tested for each individual step of processing, and quality parameters were monitored. Data, used on the test regions were as far as possible objective and describe every part of Slovenia. The thesis concludes with a discussion about the possibilities for efficient maintaining of the terrain data – data sources, DTM and other products. For this purpose a specific DTM database structure was designed.

The base hypothesis of the thesis was confirmed with statistical and visual quality analyses for both proposed methods of DTM production. The results indicate statistically, geomorphologically and visually – a high quality and efficient DTM production in Slovenia, better than those currently used and present an expected average vertical precision of 3.5 m or better for the whole of Slovenia. An important additional product of this approach to DTMs are automatically produced contour lines, terrain skeletons and

hillshading. Secondary products include acquisition of quality parameters and reduction of gross and systematic errors in geodetic databases. An extensive English summary is presented in chapter 7.

VSEBINA

1 Uvod ... 17
1.1 Ozadje in izhodišča ... 17
1.2 Hipoteza ... 18
1.3 Metode dela ... 20
1.4 Uporabljena terminologija ... 21
1.5 Zgradba disertacije ... 22

2 Pregled modeliranj reliefa v svetu in Sloveniji ... 25
2.1 Analogni modeli reliefa ... 25
2.2 Digitalni modeli reliefa ... 31
2.2.1 Ideja o DMR ... 31
2.2.2 Pregled DMR v svetu ... 31
2.3 Kronološki pregled DMR v Sloveniji ... 33
2.3.1 Prve zamisli in poskusi ... 33
2.3.2 Era DMR 100 v sedemdesetih letih ... 34
2.3.3 Razprave o izdelavi DMR od osemdesetih do konca devetdesetih let ... 34
2.3.4 Novi rezultati na prelomu tisočletja ... 36
2.4 Pregled DMR celotne Slovenije ... 37
2.4.1 DMR 100 ... 37
2.4.2 DMR 500 ... 40
2.4.3 DMR 25 ... 41
2.4.4 'SPOT DMV 20' ... 43
2.4.5 InSAR DMV 25 ... 43
2.4.6 InSAR DMV 100 ... 45
2.5 DMR bližnje okolice Slovenije ... 45
2.6 Lokalni DMR v Sloveniji ... 45
2.7 Uporaba DMR ... 46
2.7.1 Možnosti uporabe DMR ... 47
2.7.2 Kronološki pregled uporabe DMR v Sloveniji ... 48

3 Ocena možnosti izdelave DMR Slovenije ... 53
3.1 Analiza uporabe in vizij ... 53
3.1.1 Rezultati anket in uporabe ... 53
3.1.2 Rezultati ekspertiz ... 55
3.1.3 Usmeritve in vizije v svetu ... 57
3.2 Splošni cilji ... 58
3.3 Možne metodologije izdelave DMR ... 60

4 Elementi modeliranja DMR ... 63
4.1 Definiranje sestavin DMR ... 64
4.1.1 Definicija ... 64
4.1.2 Primerjalna definicija DMV glede na DMR ... 65
4.1.3 Analiza definicij ... 66
4.1.4 Povzetek definicij ... 67
4.2 Zapis podatkov DMR ... 68
4.2.1 Zajem ... 68
4.2.2 Ločljivost in merilo ... 70
4.3 Informacije o strukturi DMR ... 73
4.3.1 Vektorska struktura ... 73
4.3.2 Celična mreža ... 74
4.3.3 Nepravilna trikotniška mreža (TIN) ... 75
4.3.4 Hibridna struktura ... 76
4.3.5 Druge strukture ... 77
4.3.6 Primerjava struktur ... 77
4.4 Zvezne funkcije za opis DMR ... 79
4.4.1 Osnove interpolacije ... 80
4.4.2 Interpolacija ploskve reliefa ... 80
4.4.3 Reduciranje/dodajanje podatkov ... 83
4.4.4 Izboljšanje s hidrološkimi analizami ... 90
4.4.5 Metode za prevzorčenje podatkov ... 94
4.4.6 Glajenje ploskve DMR ... 95
4.4.7 Mozaičenje slojev ... 96
4.4.8 Umeščenost ploskve DMR v koordinatni sistem ... 98
4.5 Informacije o kakovosti DMR ... 116
4.5.1 Določitev področja obravnave za DMR ... 119
4.5.2 Natančnost/točnost ter napaka/odklon/nedoločljivost ... 120
4.5.3 Kontrola kakovosti DMR ... 126
4.6 Metode za analizo implicitnih informacij ... 135
4.6.1 Samodejna izdelava senc reliefa ... 136
4.6.2 Samodejna izdelava plastnic reliefa ... 137

5 Koncept izdelave DMR Slovenije ... 139
5.1 Shema izdelave ... 139
5.2 Priprava modeliranja DMR ... 145

5.2.1 Samodejne regionalizacije Slovenije ... 145
5.2.2 Predhodna ocena kakovosti potencialnih virov ... 149
5.2.3 Kodiranje virov ... 150
5.3 Predobdelava virov ... 151
5.3.1 Dejanska ocena kakovosti izbranih virov ter odstranitev grobih in sistematskih napak ... 151
5.3.2 Dodajanje/reduciranje podatkov ... 175
5.4 Obdelava DMR iz virov ... 184
5.4.1 Metoda hkratne interpolacije virov ... 185
5.4.2 Metoda utežnega seštevanja virov ... 185
5.4.3 Možnosti izboljšav obeh obravnavanih metod ... 190
5.5 Upravljanje s podatki o reliefu ... 192
5.5.1 Dejanska ocena kakovosti DMR ... 192
5.5.2 Vzdrževanje virov in izdelkov DMR/DMV ... 198
5.5.3 Vzdrževanje geodetskih zbirk podatkov ... 200
5.5.4 Organizacija zbirke digitalnih podatkov reliefa (ZDPR) ... 203

6 Sklep ... 209

7 Digital Terrain Model from Various Data Sources of Different Quality (Summary) ... 215
7.1 Revision of terrain modelling in the world and Slovenia ... 215
7.2 Evaluation of possibilities for production of Slovene DTMs ... 217
7.3 Elements of DTM modelling ... 217
7.4 Applied concept for Slovene DTM processing ... 218
7.4.1 Preparation for DTM processing ... 218
7.4.2 Pre-processing of data sources ... 218
7.4.3 Processing DTM from sources ... 221
7.4.4 Managing with terrain data ... 223
7.4.5 Conclusions ... 224

A Testna območja ... 225
B Samodejne regionalizacije Slovenije ... 229
C Predhodna in dejanska ocena kakovosti virov ... 243
D Programska oprema ... 275
E Terminologija ... 281

Kazalo slik ... 309
Kazalo pregledenic ... 313
Literatura ... 315
Stvarno kazalo ... 337

1 UVOD

1.1 OZADJE IN IZHODIŠČA

Oblikovanost površja je zelo pomembna značilnost Zemlje, ki je posredno ali neposredno odvisna od naravnih in antropogenih lastnosti, hkrati pa nanje vpliva. Pripomočki za učinkovito orientacijo v prostoru nujno vsebujejo tudi podatke o površju. V vsakdanjem življenju najpogosteje uporabljamo različne zemljevide, ki vsebujejo pri manjših merilih predvsem sence površja za učinkovit prikaz oblikovanosti ter barvne sloje za prikaz nadmorskih višin. Zahtevnejši uporabniki, denimo lovci, planinci, taborniki in vojaki, želijo večjo natančnost ter poleg senc ali barvnih slojev še plastnice in kóte.

Vendar nekateri želijo in potrebujejo še boljše podatke v obliki zbirk prostorskih podatkov, kakršne so temelj uspešne informacijsko podprte družbe. V tem smislu so podatki zemeljskega površja pomembni tudi za analize v prostoru, ki jih strokovnjaki najrazličnejših področij izvajajo z orodji *geografskih informacijskih sistemov* (GIS). Za boljše podatke je treba upoštevati načela harmonizacije, tako za območje Slovenije, kot tudi za Evropo in svet. Mednje sodijo harmonizacija standardov za kakovost, terestričnih referenčnih sistemov, koordinatnih sistemov, definicij podatkov itd. (*SAI* 2000; Annoni 2001b). Takšnim zahtevam mora zadoščati tudi podroben in natančen *digitalni model reliefa* (DMR), kakršnega za celotno območje Slovenije nimamo. DMR omogoča poleg zadovoljevanja analitičnih potreb tudi vizualizacije prostora ter raznovrstne kartografske aplikacije. DMR je prav gotovo najpomembnejši podatkovni sloj pri veliki večini geografskih, geomorfoloških, ekoloških, krajinarskih, arheoloških in drugih raziskav. Nepogrešljiv je tudi pri načrtovanju gradbenih in drugih posegov v prostor.

Za vso Slovenijo do sedaj ni bilo zadovoljivih digitalnih podatkov zemeljskega površja. Kljub vsemu smo bili z zasnovo in prvimi rezultati projekta izdelave DMR 100 v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja blizu svetovnega vrha. Za uporabnike obetaven DMR 100 je postal na žalost prepozno operativen. Poleg tega vsebuje model veliko grobih napak predvsem zaradi dolgotrajne izdelave, menjanja tehnologije in zaposlitve priučenih (poceni) študentov. V osemdesetih in devetdesetih letih prejšnjega stoletja je bilo precej brezplodnih razprav o izdelavi novega DMR, ki so predvsem zaradi previsokih finančnih zahtev izdelave po pravilu »padale v vodo«. Pred nekaj leti so na Geodetski upravi RS (GU) začeli s projektom DMR 25, katerega izdelava še vedno traja. Žal

tudi njegova kakovost ni na ravni zahtev in želja. Trenutno najboljši model za vso Slovenijo je InSAR DMV 25, izdelan lani na ZRC SAZU. Njegova poglavitna prednost je »vizualna« homogenost oz. visoka geomorfološka kakovost. Kljub vsemu pa ne dosega kakovosti, ki jo želijo zahtevnejši uporabniki.

Od geodetskih podatkov pričakujemo visoko natančnost. Glede na to, da digitalne modele reliefa največkrat izdelujejo geodeti, si povprečni uporabniki predstavljajo, da je kakovost teh podatkov primerljiva s kakovostjo geodetskih točk. Na žalost predstavljajo podatki geodetskih in drugih meritev samo osnovo za interpolacijo ploskve reliefa. Ker lahko obravnavamo zemeljsko površje kot fraktalno ploskev (Wood 1996; 1999), se je treba odločiti, katere podrobnosti želimo imeti v modelu. Podrobnejši zajem pomeni slabšo gospodarnost, manj podroben pa manjšo natančnost. Eno izmed izhodišč je lahko ločljivost državnih DMR, ki je v svetu narasla z okoli 50 m pred desetimi leti na sedanjih 15 (Katalonija) do 25 m (več držav). Natančnost se je pri tem močno povečala. Pri povečevanju ločljivosti na 20 m in manj je predvsem zaradi gospodarnosti treba začeti premišljevati o možnostih izdelave, ki izključujejo drag zajem podatkov.

Izhodišče za izdelavo kakovostnega digitalnega modela reliefa visoke ločljivosti so lahko tudi raznovrstni geodetski podatki, ki jih je v digitalni obliki na razpolago vedno več. Predvsem plastnice, digitalizirane s kart velikih meril, so zadnja leta velik izziv povsod, kjer so jih zaradi kakršnih koli razlogov digitalizirali. Druge, za modeliranje DMR pomembne podatke, lahko relativno gospodarno pridobivamo predvsem z raznimi senzorji s satelitov in letal. Poleg vedno boljših senzorjev, ki delujejo v vidnem ali infrardečem spektru (npr. SPOT in Ikonos), so obetajoče tudi tehnike letalskega laserskega skeniranja in letalske radarske altimetrije (Lemmens 1999b) ter več radarskih tehnik pri uporabi satelitskih posnetkov (npr. satelitov ERS in RADARSAT). S podatki daljinskega zaznavanja je mogoče v odvisnosti od senzorja, tehnike in reliefa izdelati različno dober DMR.

Povpraševanje po kakovostnih podatkih, ki naj bi bili tudi pravočasno in natančno geokodirani, strmo narašča. Pri reševanju tovrstnih zahtev bodo pomagale nove tehnologije v povezavi z novimi tipi senzorjev, internetnimi povezavami ipd. Po drugi strani pa je smiselno to vedno večjo množico podatkov iz različnih virov uporabiti za kakovostnejšo izdelavo DMR. Na področju sestavljanja skupin obstoječih podatkov je bilo opravljenih nekaj raziskav. Vendar so bili vsi uporabljeni podatki navadno podobne kakovosti, torej relativno homogeni, raziskave pa na eksperimentalni ravni.

1.2 HIPOTEZA

Vse popolnejše in obsežnejše zbirke prostorskih podatkov, ki obstajajo predvsem za Evropo in nekatera območja ZDA, so lahko odlična osnova za izdelavo kakovostnega DMR. Slovenija pri tem ni izjema. Med potencialne podatke za izdelavo DMR lahko štejemo podatke kartografskega izvora, predvsem vektorizirane plastnice ter kóte, padnice, razvodnice, rečno mrežo, območja stoječih voda ter celo cestno in železniško mrežo. Poleg njih so lahko potencialno uporabne tudi točkovne meritve, kot so razne t. i. geodetske ter druge točke, med njimi npr. centroidi iz Centralne baze podatkov o stavbah (CBPS). V tretji sklop potencialnih podatkov spadajo obstoječi digitalni modeli višin (DMV) različne kakovosti kot ploskve reliefa v obliki celičnih mrež. Med omenje-

nimi podatki so najzanimivejši tisti, ki pokrivajo vse območje Slovenije, uporabni pa so tudi lokalni sloji.

Skupine potencialnih podatkov so predvsem zaradi različnih metod zajema in obdelave same po sebi nehomogene. Točkovni, linijski in ploskovni (poligonski) detajli analognih kart so bili npr. kartirani iz geodetskih točk klasičnih meritev ali meritev GPS (sistem globalnega določanja položaja), drugi pa npr. kartirani s fotogrametričnimi tehnikami. Podatki so bili pogosto zajeti tudi v različnih časovnih obdobjih. Na še večjo nehomogenost in medsebojno neujemanje pa naletimo pri primerjavi posameznih skupin podatkov (npr. med podatki kart različnih meril, namenov uporabe in različnega izvora).

Za posamezne potencialne podatke virov so dostopni nekateri metapodatki, ki lahko pomagajo pri tehtnejši izbiri, vendar pa se nanje ne moremo popolnoma zanesti. Osnovni problem je, da so bili posamezni viri kljub standardizaciji zbirk metapodatkov (npr. Centrala evidenca prostorskih podatkov, CEPP) ovrednoteni z različnimi metodami. Še slabše pa je, da metapodatkov za nekatere vire sploh ni na razpolago. Najbolj pogrešani med vsemi metapodatki so zelo pomembni geomorfološki parametri, ki jih za potencialne vire ni mogoče najti.

Osnovna hipoteza disertacije je, da je možno z modeliranjem najrazličnejših geodetskih in drugih prostorskih zbirk podatkov različne kakovosti izdelati DMR visoke kakovosti. Še več, iz podatkov različnih virov slabše kakovosti je možno izdelati DMR boljše kakovosti od podatkov samih (predvsem z odstranitvijo nekaterih grobih in sistematskih napak). Nadalje želi disertacija dokazati ali ovreči tudi to, da se da že danes brez dodatnega zajemanja podatkov gospodarno izdelati DMR takšne kakovosti, ki bo zadovoljila večino sedanjih potreb. Srednji kvadratni odklon od točno izmerjenih višin za celotno Slovenijo bi se po ocenah gibal med 3 in 4 m. Pomemben dodatno postavljen pogoj je zasnova modela izdelave DMR na način, ki se ga da enostavno nadgrajevati z vedno novejšimi in boljšimi viri.

Poleg izdelave DMR iz obstoječih podatkov se kaže kar nekaj možnosti izdelave koristnih stranskih izdelkov. Med njimi sta kontrola kakovosti virov, ki je vključena v postopek izdelave DMR, in označitev grobih napak z možnostjo njihove izločitve. Kontrola se nanaša predvsem na geodetske točke in točke Centralne baze podatkov o stavbah (CBPS), na plastnice Generalizirane kartografske baze reliefa (GKB-relief) in na GKB--hidrografijo ter na Topografsko bazo večje natančnosti (TBVN). Glede na popravljene podatke GKB in TBVN je možno tudi polsamodejno popravljanje vsebine analognih Državnih topografskih kart merila 1 : 25.000 (DTK 25) in Temeljnih topografskih načrtov merila 1 : 5000 (TTN 5). V izdelavo DMR mora biti vključena pod enakimi pogoji tudi celovita kontrola vseh virov. To pomeni, da morajo biti vsi obstoječi sloji DMV ovrednoteni z istimi referenčnimi podatki. Le tako jih lahko neposredno primerjamo. Ovrednotenje posameznih virov in izdelkov je optimalno zapisano in organizirano skupaj s podatki v zbirki digitalnih podatkov reliefa (ZDPR) za vsako posamezno raztreseno točko ali mrežno celico vseh slojev. Med procesom izdelave DMR je treba pridobiti tudi točke in črte skeleta reliefa, ki so lahko vključene v koncept DMR ali pa zapisane posebej. In nenazadnje, z metodami regionalizacije lahko pridobimo tudi sloje, ki so zanimivi za regionalno geografijo, kot so razne kategorizacije površja v odvisnosti od geomorfoloških kriterijev.

1.3 METODE DELA

V disertaciji je prikazan celoten spekter izdelave digitalnega modela reliefa – od aktivnosti pri pripravah na modeliranje in predobdelave virov do obdelave in upravljanja z DMR. Prav zato je natančneje postavljeno izhodišče za tehnično usmerjen del raziskav z analizo predhodnih dogajanj na področju DMR v svetu in v Sloveniji. Glede na strukturo predstavljene definicije DMR so podrobno analizirane teoretične osnove DMR. To je nekoliko nenavaden način, saj so najpogosteje predstavljene prek postopkov izdelave (glej npr. Tempfli 1999a) ali pa jih narekujejo analize v GIS (glej npr. Burrough in McDonnell 1998). Teoretične osnove morajo biti, in zato tudi so podprte s praktičnimi primeri, ki se nanašajo na razpoložljive podatke za vso Slovenijo ali manjša testna območja. Testna območja so uporabljena predvsem v primerih, ko se pojavi preveč možnosti za učinkovito modeliranje po vsej Sloveniji, ali pa ni zadosti primernih podatkov. Območja so izbrana glede na vnaprej postavljene kriterije, ki ustrezajo verodostojni predstavitvi značilnosti na območju Slovenije, med katerimi sta npr. dovolj velika pestrost fizičnogeografskih značilnosti virov (oblikovanost površja, geološka sestava) ter različna predhodna znanja o površju in virih za posamezna območja.

Koncept izdelave DMR je iterativen. Na tak način lahko učinkovito upoštevamo slabo analizirano in hkrati različno kakovost podatkov. Pri tem gre za postopno spoznavanje in razumevanje vedno boljših parametrov za modeliranje. Začasen (prehoden) model, izdelan v prvi iteraciji, temelji na predhodni oceni kakovosti virov in poznavanju dejanskega zemeljskega površja. Glede na tako opredeljene (referenčne) parametre so nato izračunani novi, boljši parametri za modeliranje. Novi parametri in več znanja o modelu so upoštevani v drugi iteraciji izdelave modela reliefa. Iterativnost modela je seveda zapletenejša, kot je razvidno iz opisanega. Pri posameznih korakih pridobivanja parametrov modeliranja je treba v določenih primerih znotraj posameznih iteracij izvajati dodatne iteracije. Glede na empirično oceno je najbolj racionalna in hkrati dovolj kakovostna izdelava DMR v dveh iteracijah.

Poleg določanja primernih parametrov je pomembno tudi ugotoviti, kakšna je medsebojna odvisnost posameznih virov. Pri modeliranju so namreč uteži med seboj odvisnih virov nehote dvakrat upoštevane. Tudi v tem primeru se ne moremo zanesti samo na metapodatke. Poleg tega tako posamezne osebe kot tudi npr. posamezni narodi vidijo določene podatke različno (Vogt 2001), zato je ugotavljanje pravega porekla v nekaterih primerih pravo detektivsko delo. Z različnimi statističnimi in vizualnimi primerjavami posameznih virov ali s pomočjo ekspertnih sistemov (Vogt 2001) lahko opazimo marsikatero podrobnost, ki kaže na morebitne odvisnosti. Ko odkrijemo odvisnost dveh virov, je treba enega, ponavadi izvedenega, izločiti.

Pri testiranju virov gre v disertaciji za iskanje »globalne« metode, ki zadovoljivo opisuje izdelavo DMR za celotno območje Slovenije. S tem dosežemo po eni strani poenostavitev in homogenizacijo testiranja ter po drugi strani boljše razumevanje naravnih zakonitosti. Metoda temelji na analizah opredeljenih naravnih in antropogenih značilnosti zemeljskega površja. Izračunani so srednji kvadratni odkloni, ki ponazarjajo naključne odklone ter srednji odkloni, opredeljeni kot sistematske napake.

Sledi izbira primernih metod za obdelavo ali splošneje, interpolacija DMR. Obdelava podatkov temelji na razvoju dveh najzanimivejših pristopov. Prvi je metoda hkratne interpolacije, ki pomeni združevanje posameznih virov v enoten sloj. Posameznim podatkom virov so pripisane različne uteži. Model je treba pripraviti tako, da dobimo teoreti-

čno najkakovostnejšo ploskev reliefa. Pri tem mora ploskev potekati statistično najbližje natančnejšim podatkom in hkrati upoštevati geomorfološke značilnosti zemeljskega površja. Ta metoda zahteva zelo veliko truda pri pripravi virov. Ena izmed primernih interpolacijskih metod je 'linearna predikcija'. Z drugim pristopom, metodo utežnega seštevanja virov, je mogoče dobiti statistično in geomorfološko zadovoljive rezultate z manj zahtevno obdelavo. Metoda je pravzaprav nadgradnja predobdelave. Njena omejitev so predvsem fiksne dimenzije celične mreže. Pri izbiri interpolacijskih metod so pri obeh uporabljenih metodah obdelave pomembne predvsem njihove osnovne lastnosti.

Nekoliko manj praktično podprto je predstavljen tudi model upravljanja s podatki o reliefu, ki se nanaša na podatke različne kakovosti. V model so implicirane relacijske zbirke, ki morajo biti enostavno združljive z okoljem GIS.

1.4 UPORABLJENA TERMINOLOGIJA

Izrazita multidisciplinarnost izdelave in predvsem uporabe DMR povzroča probleme pri uporabi strokovnega izrazja. Že v strokovnih krogih prihaja med pogovori do pogostih nesporazumov in izgube časa zaradi različnih tolmačenj ali celo nerazumevanja pojmov. Problem neusklajenosti se kljub precejšni vsakdanji uporabi strokovnega izrazja ne pojavlja samo v slovenski strokovni terminologiji, ampak je navzoč tudi v angleški, ki je, tako kot na drugih področjih, vodilna pri tovrstnem strokovnem izrazju. Najpomembnejši razlogi neusklajene terminologije so predvsem neažurni terminološki slovarji, neupoštevanje ali nepoznavanje že uveljavljenih izrazov ter prevajanje tujih izrazov ob neupoštevanju pravil besedoslovja (Podobnikar 1999a).

Pomemben razlog za nedorečenost strokovnega izrazja v povezavi z digitalnim modelom reliefa (DMR) je tudi ta, da si ga pogosto lastijo tako geodeti kot geografi. Poleg tega se z njim v odvisnosti od izvornih podatkov ukvarjajo strokovnjaki za GIS, fotogrametrijo in daljinsko zaznavanje. Pri tem imamo v GIS predvsem podatke v obliki rastra (celične mreže) ali TIN, pri fotogrametriji uporabljamo raztresene točke in črte, ki jih lahko obravnavamo kot mrežo točk in črt, pri daljinskem zaznavanju pa imamo opravka s podobami, ki vsebujejo informacije o reliefu. Opis omenjenih pojmov, ki so uporabljeni v disertaciji, je v razdelku 4.3.2. V razdelku 4.5.2 so podrobno opisane tudi pomenske razlike med izrazi: natančnost, točnost, napaka, odklon, nedoločljivost. Med njimi je največja nedorečenost pri izrazih natančnost/točnost (angl. precision/accuracy). Pri splošni rabi teh pojmov uporabljam skupen izraz natančnost. Na natančnost in točnost ga ločim šele, ko je to nujno zaradi narave problema. Ločim tudi med napako/odklonom, pri čemer štejem k napakam sistematske in grobe, k odklonom pa naključne. Pri naključnih odklonih pravzaprav sploh ne gre za napake, temveč za razpršenost kot stopnjo nedoločenosti meritev okoli prave vrednosti.

Najočitnejša razhajanja so prav pri izrazih digitalni model reliefa/digitalni model višin, ki imata zadovoljivi ustreznici v angleščini: digital terrain model/digital elevation model in nemščini: Digitales Geländemodell/Digitales Höhenmodell. V tem primeru je pogosto zaslediti razhajanja v angleščini in nemščini ter posledično zaradi prevajanja iz obeh jezikov tudi v slovenščini. Pomeni izrazov, ki opisujejo relief, so podrobneje opisani v razdelku 4.1. V disertaciji se držim pojmov digitalni model reliefa/digitalni model višin in kratic DMR/DMV, kadar sta oba pojma obravnavana na splošno (takrat, ko ne govorim o določenem izdelku). Zaradi poenostavitve pa uporabljam v nekaterih primerih

namesto kratice DMV kar splošnejšo, DMR, vendar se takih poenostavitev v disertaciji večinoma izogibam. Pri tem pa je v Sloveniji v uporabi veliko dejanskih digitalnih modelov višin (DMV), za katera so v uporabi različna imena in kratice. Med njimi pravih digitalnih modelov reliefa (DMR) ni zaslediti. Med slovenske digitalne modele višin, obravnavane v disertaciji torej spadajo: DMR 100, DMR 500, DMR 40, DMR 25, InSAR DMV 25, InSAR DMV 100, DMR 10, DMR 10 mesta Ljubljane, DMR 10 Ljubljanskega gradu in 'SPOT DMV 20'. Kljub temu, da so nekatere oznake (kratice) pomensko zgrešene, jih v disertaciji zaradi njihove splošne uveljavljenosti navajam nespremenjene.

Poleg navedenih je v disertaciji uporabljenih tudi precej tako v tuji, kot tudi domači literaturi že uveljavljenih in hkrati neproblematičnih izrazov. Uporabljenih je tudi nekaj novih izrazov, ki jih pred tem ni bilo mogoče zaslediti. Pri tem velja omeniti predvsem pojma, ki opisujeta inovativna pristopa izdelave DMR, in sicer 'metoda hkratne interpolacije virov' in 'metoda utežnega seštevanja virov'. Vsi pomembnejši izrazi, tako uveljavljeni, kot tudi manj uveljavljeni, ter uporabljene kratice, so navedeni in opisani v dodatku E.

1.5 ZGRADBA DISERTACIJE

Disertacija je v grobem razdeljena na sedem poglavij, ki jih podpira pet dodatkov. V prvem, uvodnem poglavju, je opisano ozadje problema in so predstavljena izhodišča disertacije. Opisana je postavljena je hipoteza disertacije, opredeljeni so njeni osnovni cilji ter opisane so uporabljene metode dela. Predstavljena je tudi v disertaciji uporabljena terminologija.

V drugem poglavju je podrobneje predstavljeno modeliranje reliefa v svetu in Sloveniji. Pri tem gre za natančnejše spoznavanje pomembnih dejstev in preteklih dogodkov na področju DMR. Narejen je pregled analognih in digitalnih modelov reliefa z osnovnimi idejami za prehod iz analogne v digitalno tehnologijo. Sledi opis zgodovine slovenskih modeliranj reliefa – od prvih zamisli in poskusov prek DMR 100 kot nekdaj osrednjega modela do sedanjosti. Podrobno so opisani digitalni modeli celotne Slovenije, ki so bili aktualni nekoč, ali pa so v uporabi še danes. Nekoliko manj podrobno so obravnavani (večinoma bolj kakovostni) lokalni modeli. Navedene so možnosti dejanske uporabe digitalnih modelov reliefa ter kronološko opisane pomembnejše ali bolj znane aplikacije na ozemlju Slovenije.

Tretje poglavje povezuje prvi dve poglavji z naslednjimi. Natančno so ocenjene možnosti za izdelavo DMR iz obstoječih podatkov na primeru Slovenije. Predstavljeni so rezultati uporabe digitalnih modelov višin GU kot osrednje institucije v Sloveniji, ki upravlja z geodetskimi podatki. Med potencialnimi in dejanskimi uporabniki sta analizirani anketi na temo DMR. Opisane so tudi pomembnejše zamisli in zaključki ekspertiz o izdelavi DMR Slovenije, ki so bile napravljene v preteklih letih. Za dodatno primerjavo so predstavljene nekatere vizije in usmeritve v svetu. V drugem delu tretjega poglavja so glede na osnovna spoznanja drugega poglavja ter podrobnejšo analizo uporabe in vizij prvega dela istega poglavja postavljeni cilji in pogoji ter predlagane možnosti za izdelavo DMR Slovenije.

Četrto poglavje podrobneje opisuje teoretični vidik modeliranja DMR. Opisana in analizirana je definicija DMR. Struktura nadaljnjih podpoglavij se nanaša na pet osnovnih

elementov definicije. V sklopu zapisa podatkov DMR sta obravnavani problematiki zajema in ločljivosti. Med informacijami o strukturah so opisane vektorska, celična, TIN, hibridna in druge strukture. Interpolacijske metode glede na strukturo virov so opisane v razdelku o zveznih funkcijah za opis ploskev reliefa. Predlagane so tudi metode predobdelave virov, ki omogočajo boljšo interpolacijo ter opredeljene so tudi informacije o kakovosti DMR. Pri tem so opisane pomembnejše statistične in vizualne metode kontrole kakovosti. Izmed metod za analizo implicitnih informacij sta posebej izpostavljeni samodejni izdelavi senc in plastnic reliefa.

Peto poglavje je osrednji del disertacije. Obravnava praktično izvedbo dveh izmed metod modeliranja DMR, predlaganih v tretjem poglavju. Prva faza za obe metodi je priprava modeliranja, ki vključuje znanje, pridobljeno v predhodnih poglavjih. Sledi zelo pomembna faza predobdelave, s katero je izvedena podrobna ocena in priprava virov ter parametrov obdelave. Pri obdelavi sta obe metodi, 'hkratna interpolacija virov' ter 'utežno seštevanje virov', ločeno obravnavani. Opis tega dela naloge je podprt s številnimi preglednicami, slikami in grafikoni. Sledi predlog metodologije upravljanja z viri in izdelki DMR, ki postavi za osnovo zbirko digitalnih podatkov reliefa (ZDPR).

V šestem poglavju oz. sklepu so povzeti in pretehtani najpomembnejši rezultati disertacije ter analizirane prednosti in slabosti predlaganih metod in modelov izdelave DMR. Navedeni so tudi predlogi za nadaljevanje raziskav. Sedmo poglavje (Summary) nekoliko daljše povzema disertacijo v angleškem jeziku.

Delo se zaključuje s petimi dodatki. V dodatku A so predstavljena uporabljena testna območja. Dodatek B vsebuje natančen opis spremenljivk in nanje nanašajoče se sloje samodejnih regionalizacij Slovenije. V dodatku C so za vsak potencialni vir pri izdelavi DMR podrobno opisane morebitne predhodne kontrole kakovosti. Sledi analiza dejanskih ocen kakovosti vseh potencialnih virov s statističnimi in vizualnimi metodami, ki se nanašajo predvsem na obdelavo v petem poglavju. V dodatku D je opisana najpomembnejša programska oprema za izvedbo disertacije, in v zadnjem dodatku E, so podani obširen besednjak pojmov ter spiska oznak in kratic.

2 PREGLED MODELIRANJ RELIEFA V SVETU IN SLOVENIJI

Na začetku poglavja podajam kratko zgodovino digitalnih modelov reliefa (DMR), ki sega s koreninami do analognih prikazov zemeljskega površja (reliefa) nekaj tisoč let nazaj. Njihovi digitalni nasledniki so se začeli pojavljati šele pred dobrimi štiridesetimi leti. Podobno kot na drugih področjih znanosti pomeni prav zadnje, »digitalno« obdobje bliskovit napredek, ki ga orisuje to poglavje. Pri tem je dan poseben poudarek razvoju DMR v Sloveniji.

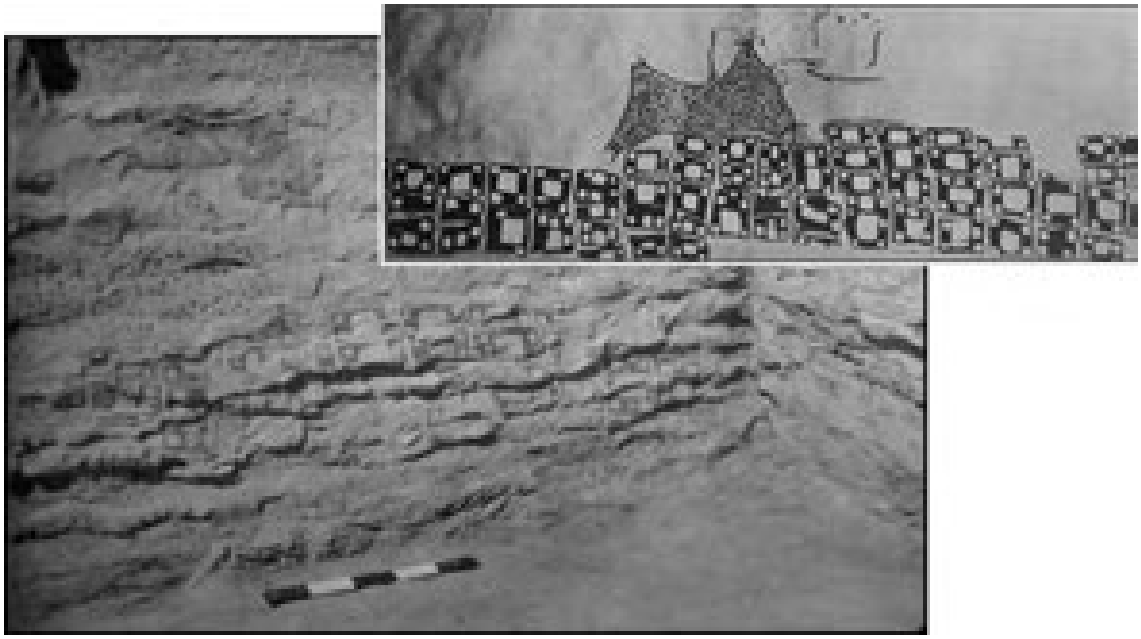
2.1 ANALOGNI MODELI RELIEFA

Rezultati raziskav kažejo, da so se prvi prikazi zemeljskega površja pojavili pred približno 30.000 leti pr. n. št., ko so se ljudje že znali uspešno izražati s simboli oz. znaki (Robinson et al. 1995). Prvi ohranjeni prikazi zemeljskega površja izvirajo iz turške Anatolije, kjer so pred okoli 8000 leti na stenski slikariji prikazali izbruh vulkana nad mestom (slika 1; Lanius 1999). Mnogo bolj kakovostni prikazi izvirajo iz obdobja Mezopotamije, kjer so pred približno 4500 leti prikazovali gorovja s »topografskimi« znaki kot *kupe kamenja*, gorske verige so bile nakazane s poravnanimi črtami, med njimi pa so vijugale črte rek (slika 2; Korošec 1978).

Takšne in podobne oznake vzpetin so bile najpogostejše pri prvih ohranjenih kartografskih prikazih na glinastih tablicah, kamenju, kovinah in podobnem. Pri omenjenih izdelkih bi lažje govorili o umetniških delih kot o pravih kartografskih prikazih. Prav gotovo so se ljudje še pred tem sporazumevali z enostavnimi risbami v pesku in prsti ali pa s plastično oblikovanimi reliefi, t. i. reliefnimi modeli pri uporabi naravnih materialov. Podobni reliefi so se uveljavili tudi v bližnji preteklosti kot pomanjšave pri prikazu raznih zgodovinskih dogajanj v muzejih ali kot reliefni zemljevidi celih pokrajin ali držav (Leskovar 1984; Peterca et al. 1974; Kraus 2000). Sicer so se kartografski prikazi površja domnevno pojavili neodvisno na več območjih zemeljske oble.

Kasnejši kartografski prikazi zemeljskega površja so bili večinoma izdelani na lesu ali papirju, tako da so se težje ohranili kot kamniti ali glineni. Znane so karte iz paličic, ki so jih uporabljali za navigacijo v Pacifiku, obalne karte prednikov Eskimov na slonovi-

ni, predkolumbijske karte v Srednji in Južni Ameriki, egipčanski prikazi na papirusu izpred nekaj tisočletij pr. n. št. in kitajski zemljevidi iz 7. stol. pr. n. št. (Lanius 1999).



Slika 1: Najstarejši ohranjeni zemljevid, ki ga nekateri strokovnjaki štejejo za slikarijo (Lanius 1999). Najden je bil med arheološkimi raziskavami kraja Çatal Höyük v turški Anatoliji. Nahaja se v svetišču na zidu dolžine 3 m in pri tem prikazuje tudi zemeljsko površje. Domnevno izvira iz leta 6200 pr. n. št. Prikazuje stavbe ter erupcijo, najverjetneje vulkana Hasan Dači (3253 m). Desno zgoraj je rekonstrukcija zemljevida.

Slika 2: Odlomek glinaste ploščice dimenzij 7,6 krat 6,8 cm, ki je dolgo časa veljal za najstarejši ohranjeni zemljevid (levo). Vrisan je del severne Mezopotamije, najden na arheološkem najdišču mesta Ga-Sur, približno 300 km od Babilona (v današnjem Iraku). Ploščica izvira iz let med 2300 in 3800 pr. n. št. (Harley in Woodward 1987, 113; Lanius 1999). Njeno rekonstrukcijo prikazuje desna slika.

V kartografiji je precejšen napredek pomenil razvoj geometrije, ki so jo izpilili grški učenjaki. Opisali so obliko in dimenzije zemeljskega površja ter omogočili izdelavo za-

snov referenčnih koordinatnih sistemov. Vse našteto je bilo izhodišče za oblikovanje osnov za določitev medsebojnih položajev in povečanje natančnosti podatkov. Prikaz razgibanosti zemeljskega površja je lahko postajal vse bolj prepričljiv (Robinson et al. 1995). Topografski znaki niso bili več orientirani glede na potek gorovja ampak na njihov videz. Gorovja so senčili z leve (slika 3), poleg tega so začeli s črtami označevati potek grebenov kot skalnate gore z različnimi velikostmi. Na področju prikaza zemeljskega površja Rimljani niso bili bistveno boljši od Grkov.

Slika 3: Rimski zemljevid iz približno leta 100 pr. n. št. Hribovja so shematično prikazana v obliki verig s senčenjem. Kopije takih zemljevidov so uporabljali še v srednjem veku, 1700 let kasneje (Lanius 1999)!

V srednjem veku, po razpadu Zahodnorimskega cesarstva, je v zahodni civilizaciji sledilo obdobje kulturnega somraka. Nad znanostjo je prevladala cerkvena dogma. Prikazi reliefa so bili spet geometrično slabo definirani z enostavnejšimi simboli – topografskimi znaki (Korošec 1978). V tem času so grško tradicijo izdelovanja zemljevidov nadaljevali Arabci. Na kartografe je v 16. stol. vplivalo duhovno in intelektualno prebujenje renesanse. Topografski prikazi so (spet) postajali vedno bolj metrični. Uporabljati so začeli kartografske projekcije ter naravnejše in prepričljivejše oznake. Prikaz zemeljskega površja je postal zvezen, prikazovati so začeli črte naklonov in črtkane vzorce senc. Kartirane črte so postale finejše in mehkejše.

Uporaba primernih metod prikaza zemeljskega površja se je kazala v iskanju kompromisa med plastičnimi in geometričnimi metodami. Plastične metode se opirajo na vizualno učinkovit, geometrične pa na natančen prikaz površja. Na žalost pa najučinkovitejše vizualne tehnike niso najbolj natančne. Vse do 20. stol. so prevladovale plastične metode, ki so sicer učinkovite za prikaz površja v malih merilih.

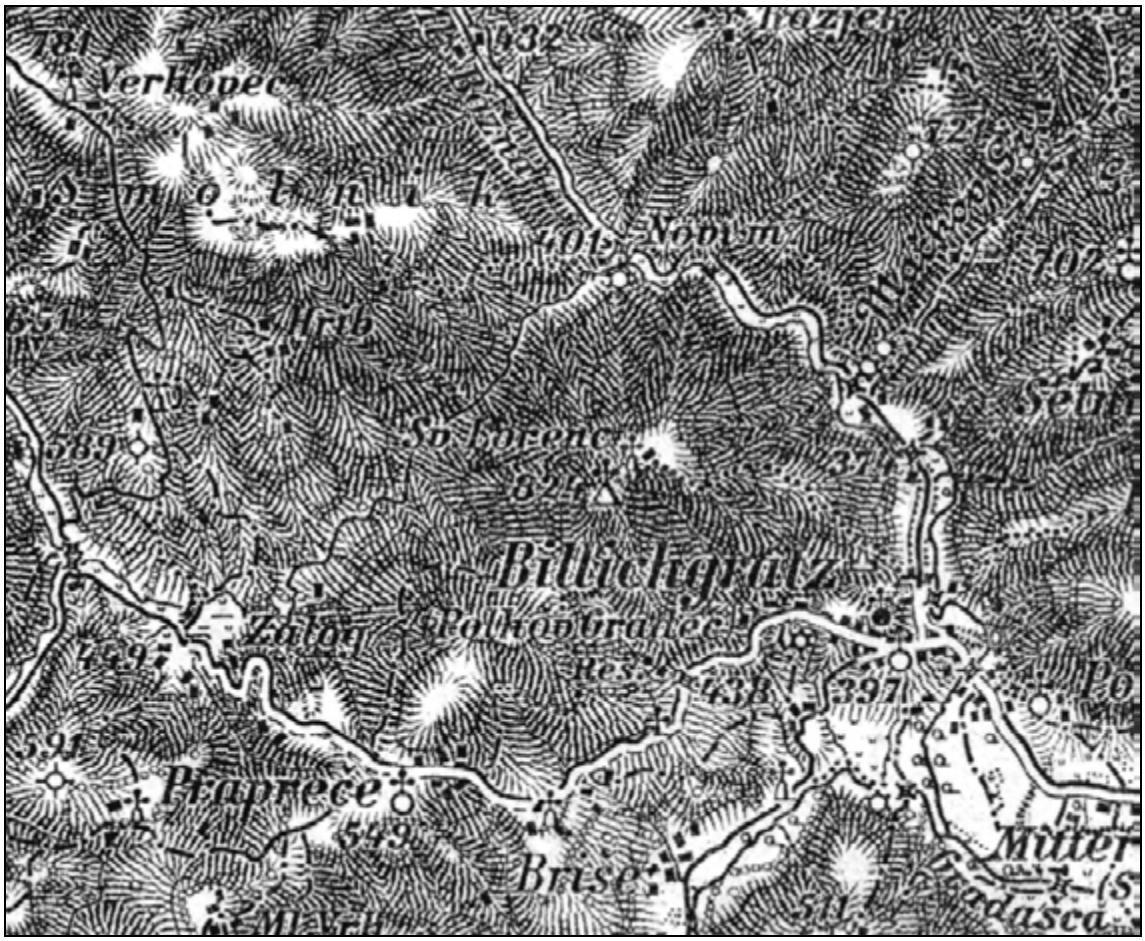
V 18. stol. zasledimo izum plastične (pogojno tudi geometrične) metode *črtkanja*, in sicer po pravilu, da večji ko je naklon oz. neravnost površja, gostejše in temnejše so črte

(slika 4). Konec 18. stol. se je pojavila metoda naklonskega črtkanja[1] (slika 5). Črte so izrisane v smeri naklona in stopničene v približno pravilnih metričnih odsekih (med posameznimi odseki bi bile lahko plastnice). Položnejše površje je črtkano z daljšimi in tanjšimi črtami kot strmejše. Uporabljali so tudi varianto 'metode leve osvetlitve' za doseganje trirazsežnega učinka s finejšimi črtami na osvetljenih straneh (Robinson et al. 1995). V 19. stol. se je pojavilo kar nekaj načinov črtkanja, s kakršnimi so umetniško upodabljali zemeljsko površje. Danes se uporablja le še t. i. *skalno črtkanje* kot dopolnitev drugim metodam prikaza strmega in skalnatega površja v visokogorju.

Slika 4: Stara avstrijska vojaška karta iz let 1763 do 1787 v merilu 1 : 28.800 (Rajšp 1996). Prikaz površja z večjo debelino črt pomeni večji naklon površja.

V začetku 19. stol. so se z razvojem litografije začele pojavljati barvne karte. Črte za opis površja so začeli prikazovati v rjavem odtenku in kasneje v enaki barvi tudi plastnice. Za še učinkovitejše osnovne ali dopolnilne prikaze so vpeljali metodo *barvnih slojev*, npr. hipsometrične odtenke za prikaz kopnega in batimetrične za prikaz podvodnega površja.

[1] Saksonski vojaški topograf Johann Georg Lehmann je leta 1799 utemeljil in razvil naklonsko črtkanje in oblikoval svojo lestvico.

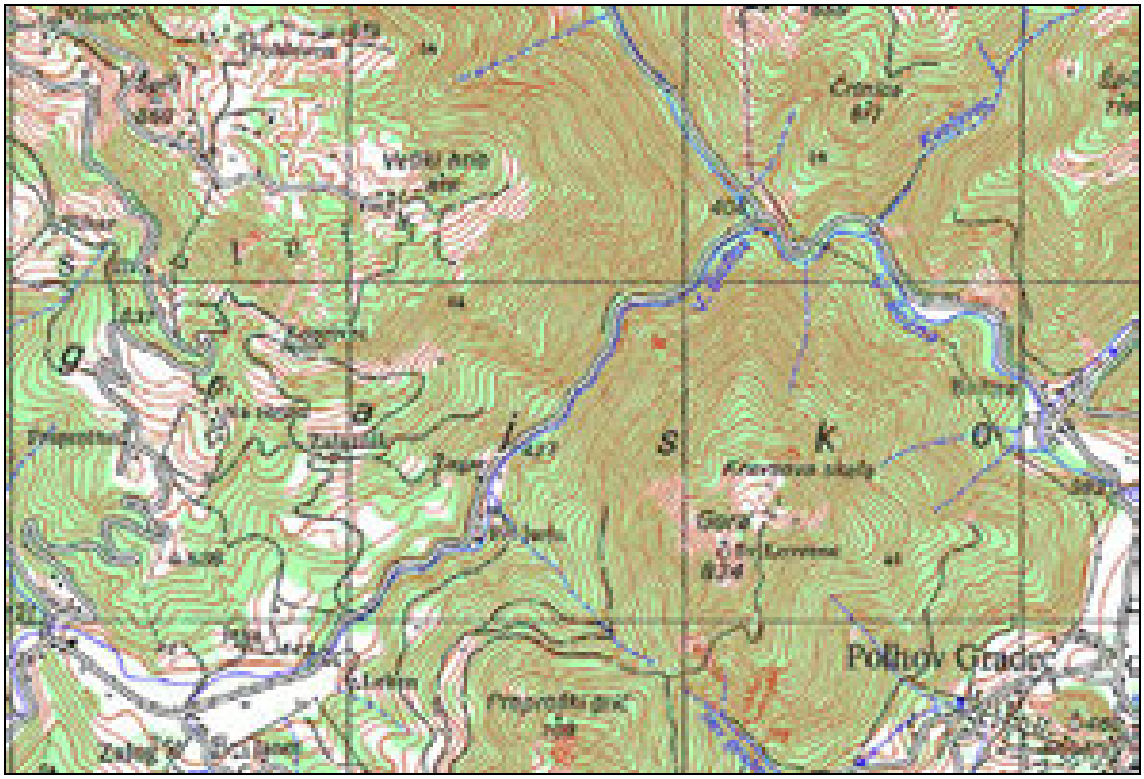


Slika 5: Avstro–ogrska vojaška karta iz začetka 20. stol. v merilu 1 : 75.000. Površje je prikazano z naklonskim črtkanjem. Izrisane so bile tudi nekatere plastnice in kóte.

V sredini 19. stol. so postopki fotografije, graviranja, litografije in poltonskih postopkov omogočili tonsko mehak prikaz površja, od svetlejših do temnih vrednosti. *Senčenje* predstavlja eno izmed najbolj realističnih metod prikazov oblikovanosti zemeljskega površja. Je logično nadaljevanje metod črtkanja in simulira učinek trirazsežnosti. Spada med plastične metode prikaza površja s sivimi toni, ki ponazarjajo osvetlitev površja v odvisnosti od ekspozicije. Najboljše senčene reliefe so ročno izdelovali umetniki, ki so dobro obvladali interpretacijo površja iz plastnic ali aeroposnetkov. Danes so večinoma v uporabi različne tehnike samodejnega senčenja, ki ima prednost pred ročnim zaradi precej nižje cene, prikaza več detajlov in homogenosti prikaza (Robinson et al. 1995).

S prvimi merjenji nadmorskih višin vzpetin so se kot ena izmed geometričnih metod prikaza površja pojavile *kóte*, ki s pikami in pripisanimi nadmorskimi višinami opisujejo nadmorske višine posameznih točk površja. Največkrat so jih kombinirali s črtkanjem. Kóte so se pogosteje začele pojavljati na kartah v drugi polovici 19. stol. Z razvojem geodetskih metod merjenja zemeljskega površja se je v 20. stol. uveljavila zelo dobra geometrična metoda prikaza površja s *plastnicami* – izohipsami in izobatami (slika 6), ki je postopoma nadomestila tehnike črtkanja. Ker so plastnice večinoma le približno geometrično pravilne, vendar pa vseeno nazorno prikazujejo oblikovanost zemeljskega površja, jim nekateri pravijo kar oblikovnice. Zanimivo je, da so bili prvi prikazi površ-

ja s plastnicami omejeni na prikaze dnov jezer in morja, torej z izobatami[2] že koncem 16. stol. (Clarke et al. 1995). Stara Avstrija pa je za prikaz zemeljskega površja uporabljala kombinacijo črtkanja in plastnic (slika 5).



Slika 6: Plastnice in kóte za prikaz površja na Državni topografski karti merila 1 : 25.000 (DTK 25). Območja, ki jih ni mogoče prikazati s plastnicami, so prikazana s sklanim črtkanjem. Izsek meri približno 3,5 krat 2,5 km.

Sodobni prikazi zemeljskega površja najpogosteje uporabljajo kombinacije več metod, predvsem v odvisnosti od namena uporabe in merila izdelka. V malih merilih so prikazi večinoma osnovani na plastičnih metodah kot kombinacija metod barvnih slojev in senčenja površja. V večjih merilih je zemeljsko površje skoraj vedno prikazano tudi s plastnicami.

Z uporabo samodejnih geodetskih merskih tehnik in navigacijskih sistemov, fotogrametrije, daljinskega zaznavanja, interneta ter predvsem z razvojem računalništva so se lahko uveljavljali raznovrstni *perspektivni* prikazi površja v kombinaciji z že omenjenimi klasičnimi prikazi. Prek površja lahko »napenjamo« tudi najrazličnejše tematske digitalne sloje, pridobljene s tehnikami daljinskega zaznavanja in analiz v GIS. Med najstarejše perspektivne prikaze površja štejemo *blokovne diagrame*, ki jih uporabljajo geologi pri prikazih geoloških struktur že od 18. stol. dalje.

Omeniti velja tudi *morfometrične* ali *strukturne* karte, ki pogosto prikazujejo relativni relief, karte območij naklonov površja, smeri naklonov, ekspozicij površja ipd. (Robinson et al. 1995). Naslednja možnost so *karte osnovnih enot reliefa*, ki omogočajo vtis o oblikovanosti površja, kot npr. 'ravninsko', 'gričevnato' in 'gorato' površje. Slednje so uporabne tudi za regionalno planiranje in analize površja. Uveljavljajo se tudi dinamični

[2] Prvi znani prikaz izobat je izdelal Nizozemec Pieter Bruynsz leta 1584.

prikazi površja ter digitalne karte na osnovi digitalnega modela reliefa za prikaz položaja v prostoru, in sicer na zaslonih avtomobilov, ladij, letal ter na mobilnih telefonih in drugih prenosnih napravah. Vsekakor pa analogne karte kljub vse večji računalniški – digitalni usmerjenosti izdelkov, ne bodo izginile. Verjetnejši je še večji razvoj tehnik digitalnih prikazov reliefa, ki bodo prikazani tudi z analognimi tehnikami.

2.2 DIGITALNI MODELI RELIEFA

2.2.1 Ideja o DMR

Sodobna računalniška tehnologija omogoča znatno zmanjšanje časa in stroškov pri izdelavi analognih kart reliefa (Rihtaršič in Fras 1991; Rihtaršič 1991a). Z geografskimi informacijskimi sistemi (GIS) lahko izvajamo učinkovite prostorske analize, ki so praviloma odvisne od podatkov reliefa. V ta namen potrebujemo računalniško podprt model reliefa s končnim številom objektov v prostoru, ki generalizirano predstavljajo dejansko zemeljsko površje.

Zamisel o izdelavi digitalnega modela reliefa (DMR) je stara skoraj toliko kot informacijska doba oz. uveljavljanje digitalnega računalništva[3]. Računalniki so omogočili učinkovite analitične obdelave podatkov ter vzpostavitev zbirk podatkov za izdelavo in praktično uporabo DMR. Možnosti za izdelavo DMR je pospešilo daljinsko zaznavanje in uveljavitev digitalne fotogrametrije ter pripadajoče metode in tehnike za pridobivanje, obdelavo, interpretacijo in merjenje digitalnih posnetkov.

Zasnova DMR je podana s klasično geodetsko predstavo ploskovnega nivelmana (Banovec in Lesar 1975). Izraz *digitalni model reliefa* (DMR, angl. *digital terrain model* – DTM) je prvi uporabil Američan Charles Leslie Miller med leti 1955 in 1960, ko je s skupino sodelavcev izdelal raziskovalno nalogo, katere cilj je bil razvoj računalniško podprtega sistema za učinkovito projektiranje avtocestne infrastrukture (Doyle 1978). Zaradi visokih stroškov priprave in zajema podatkov, do sredine sedemdesetih let večinoma še ne moremo govoriti o splošni uporabi digitalnih podatkov višin, ampak predvsem o eksperimentalnih regionalnih reliefih.

2.2.2 Pregled DMR v svetu

Izdelave DMR so se najprej lotili predvsem v Severni Ameriki in Evropi. V začetku sedemdesetih let prejšnjega stoletja so npr. v ZDA (USGS) začeli izdelovati digitalni model višin ločljivosti 7,5'. V istem obdobju so se lotili digitaliziranja plastnic za celotna območja držav s kart različnih meril predvsem v ZDA, Kanadi in Avstraliji (Heitzinger in Kager 1998). V Evropi na splošno niso bili naklonjeni digitalizaciji plastnic za izdelavo DMR, saj so menili, da lahko zajamejo veliko boljše podatke samo s fotogrametričnimi metodami. DMR celotnih držav so bili torej do nedavnega praviloma izdelani z uveljavljenimi metodami, ki so uporabljale digitalizirane plastnice ali podatke, pridobljene s klasičnimi metodami digitalne fotogrametrije, skupaj z modificiranimi metodami pri obdelavi stereoparov satelitskih posnetkov SPOT.

[3] Za prvi elektronski računalnik se šteje pansilvanski ENIAC iz leta 1946.

Ločljivost in hkrati natančnost DMR, izdelanih za celotna območja držav, se je nenehno izboljševala. Pred dvajsetimi leti se je ločljivost v večini razvitih držav gibala med 250 in 100 m in pred desetimi leti narasla na okoli 50 m (Rihtaršič in Fras 1991, 109). Natančnost izdelanih DMR kljub temu najpogosteje ni ustrezala ločljivosti, poleg tega so vsebovali veliko grobih napak. Zadnje obdobje je opaziti preskok na ločljivost 25 m in občutno povečanje kakovosti. Pri tem skoku se je natančnost nadmorskih višin povečala z okoli 10 na 2 m in manj.

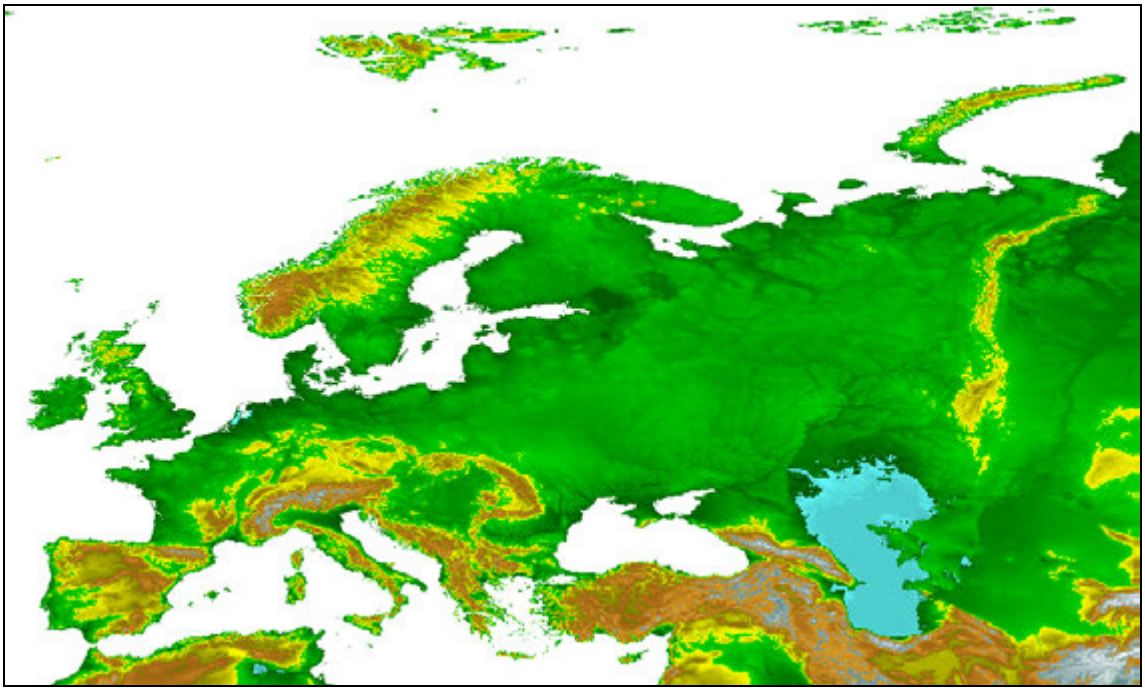
V zadnjih nekaj letih je opaziti tudi nekatere večje spremembe pri izdelavi DMR celotnih držav. Uporaba digitaliziranih plastnic za modeliranje reliefa je postala nekakšna modna muha predvsem v Evropi. Vse bolj se uveljavljajo tehnike (aero)laserskega skeniranja (profiliranja) za izdelavo natančnejših modelov reliefa na (zaenkrat) manjših območjih. Metode odlikuje visoka možnost avtomatizacije ter časovna in potencialna finančna učinkovitost. Trenutno je izdelava laserskega DMV približno 30-krat dražja od klasičnih fotogrametričnih metod izdelave, vendar cena pada. Velik napredek so v zadnjem času dosegli tudi s konstruiranjem kamer za lasersko skeniranje. Njihova ločljivost je med 3 in 10 m (do meril 1 : 8000) ter vertikalna natančnost za ravnine ±20 cm, sicer pa nekoliko več. Lasersko skeniranje je dobilo dodaten polet z možnostjo natančne določitve položaja letal pri uporabi GPS, ki je od maja leta 2000 dekodiran tudi za civilno rabo. Dodatno je pripomogla tudi enostavnost transformacije koordinat v državni koordinatni sistem – DKS. S tem je pridobila tudi klasična (aero)fotogrametrija, tako da bodo klasične aerokamere predvidoma v naslednjih letih še v uporabi.

Pomembnejša ovira za večjo uveljavitev laserskega skeniranja je, da lahko na hribovitih površjih predvsem zaradi večkratnih odbojev pričakujemo precej manjšo natančnost kot na ravnih in odprtih. Problem kakovosti poraslih površin se da v večini primerov zadovoljivo rešiti z avtomatizirano metodo 'grobe ocene' (Kraus in Pfeifer 1998), sicer pa je treba izvajati tudi nekatere ročne popravke. Enega vidnejših uspelih projektov izdelave DMR z metodo laserskega skeniranja za večje območje so izvedli na Geodetski upravi nemške države Nordrhein-Westfalen (Severno Porenje in Vestfalija), ki ima površino za skorajda dve Sloveniji. Za več kot 4/5 (ne zelo hribovite in porasle) države je na voljo DMR z velikostjo mrežnih celic 10 m in natančnostjo nadmorskih višin pod 0,5 m (Knabenschuh in Petzold 1999). Lasersko skeniranje je sicer uporabno tudi za merjenje višine gozdov in interpretacijo vrste gozdov, izdelavo 3D mest, zaznavanje daljnovodov ipd.

Do sedaj smo obravnavali regionalne modele reliefa, zdaj pa preidimo k modelom za vso zemeljsko oblo. Problem izdelave natančnejših globalnih DMR je, da so podatki za izdelavo navadno nehomogeni in v različnih projekcijah. Med najbolj znanimi tovrstnimi modeli je DMV s celično mrežo ločljivosti 30 geografskih sekund (30") ali približno 1 km v zmernih geografskih širinah, GTOPO30 USGS, ki je bil izdelan iz ne preveč kakovostnih podatkov različnega izvora (Olsen in Bliss 1996). Še bolj ambiciozen je projekt GLOBE (angl. Global Land One-kilometer Base Elevation; slika 7), s katerim so ustvarili zbirko podatkov za celotno zemeljsko oblo iz različnih virov, ki med drugimi vključuje GTOPO30 (Hastings in Dunbar 1998; 1999). GLOBE vsebuje tudi batimetrične podatke projekta ETOPO5 (Earth Topography – 5 Minute), in sicer z ločljivostjo 5' (*ETOPO5* 2001). Vsi omenjeni globalni DMV so dosegljivi brezplačno in brez omejitev avtorskih pravic.

Precej obeta misija SRTM vesoljskega plovila Endeavour, ki je pridobila kakovostne radarske posnetke. Izvedla jo je NASA februarja leta 2000. Po njihovem načrtu bo z me-

todo radarske interferometrije izdelan homogen model reliefa do leta 2002. Njegova ločljivost bo 30 m (3") z natančnostjo 10 m in točnostjo višin 16 m ter s točnostjo 20 m v horizontalnem smislu. Zemljo bo prekrival v pasu med 60º severne in 56º južne geografske širine (*GTOPO30* 2000; Bamler 1999). Predhodno omenjeni projekt GLOBE se vključuje tudi v misijo SRTM (Hastings in Dunbar 1998), pri čemer bodo tudi ti podatki predvidoma na razpolago brezplačno in brez omejitev avtorskih pravic (najbrž za omejeno ločljivost okoli 100 m). Tehnologija satelitske radarske interferometrije je ekonomsko učinkovita alternativa izdelave DMV tudi za območja posameznih držav, ki nimajo na razpolago dovolj kakovostnega modela višin. Pričakovana vertikalna natančnost se giblje med 2 in 10 m, ki ji kot primerna odgovarja ločljivost 25 m ali nekoliko manjša.



Slika 7: Globalni DMV projekta GLOBE ločljivosti 30". Prikazano je območje Evrope (Hastings in Dunbar 1998).

Nenazadnje velja omeniti razvoj interneta in primernih standardov, ki posredno vplivajo na vedno večjo povpraševanje in izmenjavo podatkov DMR. Poleg tega je z internetnimi orodji, kot je npr. jezik VRML oz. naslednja generacija, X3D, možna učinkovita predstavitev tridimenzionalnih modelov reliefa večji množici potencialnih uporabnikov prostorskih podatkov.

2.3 Kronološki pregled DMR v Sloveniji

2.3.1 Prve zamisli in poskusi

Prve raziskovalne ideje o izdelavi digitalnega modela reliefa (višin) v Sloveniji so stekle konec šestdesetih let prejšnjega stoletja na Geodetskem zavodu SRS. Pripisujemo jih T. Banovcu, ki je bil tudi nosilec kasnejšega projekta izdelave DMR 100, in sonosilcu A. Lesarju.

Za prvi poskus zajema višinskih podatkov v pravilno celično mrežo štejemo izdelavo relativnega reliefa občine Domžale v merilu 1 : 150.000. Vnašali so višinske razlike površja z določenim izhodiščem v celično mrežo dimenzij 500 krat 500 m. Omeniti velja tudi poskus ljubljanskih urbanistov pri izdelavi ročnega modela reliefa Ljubljane s celično mrežo 500 m, ki so ga razdelili na 250, 125 in 100 m in pri tem ugotovili, da je celična mreža ločljivosti 100 m primerna za potrebe urbanističnega planiranja (Banovec in Lesar 1975). Pri obeh naštetih poskusih je torej šlo le za ročni zapis višin v obliko, primerno za digitalizacijo. V sredini sedemdesetih let so za območje Doba pri Domžalah izdelali digitalni model višin 'DMR 10' iz Topografsko katastrskega načrta (TKN) merila 1 : 1000.

2.3.2 Era DMR 100 v sedemdesetih letih

Leta 1972 so na Geodetskem zavodu SRS izdelali nalogo, v kateri so predstavili možnost izdelave DMR ter njegov potencialni vpliv na razvoj gospodarstva in kmetijstva, študije zgodovine poselitve ter na druge oblike uporabe (tako praktične kot tudi študijske). Že pol leta kasneje, leta 1973, so na Geodetskem zavodu SRS začeli z izdelavo digitalnega modela višin – *DMR 100*, z ločljivostjo 100 m za vso Slovenijo. Tehničnega dela, kamor spada izvedba načina zapisa podatkov, izdelava programske opreme itd., se je lotil A. Lesar. Za operativni del, organizacijo zajema podatkov, je poskrbel M. Podobnikar. Delo je steklo, vendar se je na žalost že kmalu po začetnem zamahu pokazalo, da ne teče po predvidevanjih.

Ker izdelavi DMR 100 ni bilo videti konca, so se lotili manj podrobnega z ločljivostjo 500 m in ga izdelali do konca leta 1975 (Banovec in Lesar 1975). *DMR 500* na žalost ni bil nikoli čislan in množično uporabljan, predvsem zaradi izjemno slabe ločljivosti in točnosti. Istega leta so dokončali približno 1/3 DMR 100. Prepočasna izdelava, in ker posamezni izvajalci niso dosledno upoštevali standardov zajema, sta bila razlog, da so nekatere planerske organizacije, npr. Razvojni center Celje, začele izdelovati lastne, lokalne digitalne modele višin.

Med leti 1977 in 1978 je lastništvo DMR 100 in DMR 500 prešlo z Geodetskega zavoda SRS na Republiško geodetsko upravo. Še leta 1978 so predvidevali, da bodo DMR 100 dokončali leta 1981, vendar so ga šele leta 1984 in nato do leta 1997 odstranjevali grobe napake. Na začetku izdelave in morda tudi še leta 1984 je bil DMR 100 dosežek, ki je bil omembe vreden v evropskem in svetovnem merilu. Zanj je vladalo veliko zanimanje strokovnjakov in potencialnih uporabnikov. Dejanski odziv in uveljavitev sta bila slabša. Morda je k temu prispevalo slabo oglaševanje in trženje ter neprijazen zapis podatkov za neposredno uporabo v sistemih CAD ali GIS. V zadnjih desetih letih je uporabnost DMR 100 gotovo manjša prav zaradi njegove premajhne ločljivosti in natančnosti/točnosti.

2.3.3 Razprave o izdelavi DMR od osemdesetih do konca devetdesetih let

V osemdesetih letih prejšnjega stoletja se je neizpodbitno pokazalo, da obstoječi DMR 100 ne ustreza več večini potreb po kakovostnih analizah. Poleg tega tudi ni bil primeren niti za izdelavo primernih kartografskih podlag za večja, podrobnejša merila 1 : 50.000 in več, kar je vedno bolj aktualno. K njegovi neprimerni uveljavitvi je bila

morda kriva tudi napačna »geodetska filozofija« (Rihtaršič in Fras 1991), preobremenjena s previsoko metrično natančnostjo. Prav to je bil eden izmed razlogov, da do izdelave novega DMR nikakor ni prišlo. Visokoleteči cilj, izdelati DMR z ločljivostjo vsaj 25 m in višinsko natančnostjo vsaj 5 m za celotno Slovenijo, je bil neuresničljiv zaradi visokih stroškov in danih tehničnih zmogljivosti ter zaradi drugih, »pomembnejših« projektov na področju geodezije. Kljub vsemu je razvoj osebnih računalnikov na koncu osemdesetih let omogočil (nepričakovan) kratkotrajen razcvet uporabe DMR 100 (Radovan 1992c).

V začetku devetdesetih let so bile predstavljene nove ideje in rešitve za izdelavo DMR Slovenije. Rihtaršič in Fras (1991) sta jih opisala v edini knjigi o teoretičnih osnovah in uporabi DMR v slovenščini. Napravljen je bil tudi koncept izdelave zbirke digitalnih podatkov reliefa (Rihtaršič 1992b). Zatem ni bilo več opaziti dejavnosti M. Rihtaršič na področju DMR, čemer je bil morda kriv njen za tiste čase preveč »radikalen« pristop izdelave DMR za večino »starih« geodetov »ki o DMR že vse vedo«.

Leta 1991 so na Ministrstvu za varstvo okolja RS razpisali natečaj za izvedbo projekta digitalnega informacijskega sistema reliefa, kjer se je s svojo zamislijo prijavil IGF (Inštitut za geodezijo in fotogrametrijo, danes Geodetski inštitut Slovenije – GI) ter pri tem izdelal testni primer izdelave pravega DMR za okolico Šentjerneja pri Kostanjevici (Radovan 1992b).

Leta 1994 je kazalo, da se bodo končno končali zapleti z izdelavo novega DMR. Takrat sta namreč GU in Geoinformacijski center RS pričela z novimi aktivnostmi za izvedbo projekta vzpostavitve 'digitalnega modela reliefa RS'. V omenjeni projekt se je želela vključiti tudi Geodetska zbornica. Pri pobudi za izdelavo DMR so sodelovali IGF (Radovan et al. 1994a), podjetje Igea, d. o. o. (Fras 1994) ter Ministrstvo za okolje in prostor (Rozman 1995). GU je povzela in obdelala ekspertize o možnostih izdelave ter izdelala anketo med potencialnimi uporabniki (Stanonik 1995), s katero so analizirali njihove želje in potrebe. Več o rezultatih omenjene pobude je opisano v razdelku 3.1.

V okviru dejavnosti izdelave novega DMR je bil na FGG (Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo) v Ljubljani konec aprila leta 1995 na povabilo IGF, FGG in Geoinformacijskega centra MOP RS na obisku K. Kraus s Tehniške univerze na Dunaju. V ta namen so organizirali okroglo mizo na temo: 'Strokovne možnosti izdelave kvalitetnega DMR Slovenije'. Kraus je v predavanju za naslovom 'Od digitalnega modela reliefa k topografskemu informacijskemu sistemu' (Radovan 1995) predstavil avstrijske izkušnje pri izdelavi DMR. Izdelava avstrijskega DMR temelji na osnovi zajema podatkov raztresenih točk ter značilnih črt in točk z analitičnimi fotogrametričnimi instrumenti. Pomembnejši opisi zaključkov okrogle mize in omenjenega predavanja so v razdelku 3.1.2.

Pobuda izdelave DMR iz let 1994 in 1995 je na žalost zamrla pri izvedbi projekta, čeprav so bili v načrtu animacija potencialnih uporabnikov, aktivnosti glede pridobitve sredstev za projekt ter oblikovanje končnega besedila o projektu izdelave novega DMR. Morda edini (delni) rezultat omenjene pobude je izdelava digitalnega modela višin z ločljivostjo 25 m (*DMR 25*), ki so ga začeli izdelovati leta 1995 kot DMR 40, skupaj z digitalnimi ortofoto načrti merila 1 : 5000 (DOF 5). Več izvajalcev bo delo predvidoma dokončalo do konca leta 2001 za celotno Slovenijo (glej tudi razdelek 2.4.3).

Predvsem zaradi neuspeha izdelave kakovostnega DMR za celotno Slovenijo so se z novimi tehnologijami v zadnjih letih pojavili novi lokalni kakovostni digitalni modeli višin za specifične potrebe posameznih uporabnikov (DMR 10 mesta Ljubljane, digital-

ni modeli višin v okolici novih cest ipd.). Prav tako so se za posamezna območja začeli poskusi za izdelavo laserskega DMV.

Pri testiranju, popravkih, izdelavi nekaterih programov ter priključitvi digitalnih modelov višin okolice Slovenije je bil ves čas aktiven IGF. Neodvisno od vseh diskusij in polemik o izdelavi novega DMR je bila leta 1997 napisana knjiga oz. učbenik o geografskih informacijskih sistemih (GIS) v slovenščini (Kvamme et al. 1997). Dva razdelka opisujeta osnovna načela DMR, od izdelave do možnosti uporab in analiz v okviru GIS.

2.3.4 Novi rezultati na prelomu tisočletja

Pred nekaj leti je bila pri nas predstavljena radarska interferometrija kot ena izmed možnih tehnik za izdelavo solidnega digitalnega modela višin (Oštir 1998). Omenjena metoda je nekoliko manj natančna alternativa izdelavi DMV s stereoposnetki SPOT. V letih 1999 in 2000 je bil na Znanstvenoraziskovalnem centru Slovenske akademije znanosti in umetnosti (ZRC SAZU) izdelan Interferometrični digitalni model višin s celično mrežo ločljivosti 25 m (*InSAR DMV 25*). Točnost nadmorskih višin je nekaj več kot 5 m, kar je precej bolje od obstoječega DMR 100 in blizu kakovosti, želene pri novem DMR (Oštir 2000; Stančič et al. 2000c; Oštir et al. 2000a). InSAR DMV 25 je prvi po starem DMR 100, ki pokriva vso Slovenijo.

Nov okvir za izdelavo pravega DMR je bil izdelan po pogovorih M. Podobnikarja iz GU in z mano v začetku leta 1998, z delovnim naslovom 'Model reliefa iz obstoječih in nastajajočih podatkovnih nizov'. Njegovo mnenje je bilo, da znajo le geodeti izdelati pravi model reliefa, ki naj bi se po možnosti razvijal pri uporabi izbranih podatkov. Pri tem je bilo na GU na razpolago že precej digitaliziranih vektorsko strukturiranih podatkov, tako da se je kar sama po sebi ponujala ideja o vključitvi obstoječih podatkov v izdelavo DMR. Po drugi strani pa je bilo mnenje nekaterih na GU, da zadošča zbiranje podatkov za modeliranje reliefa v obliki digitalne zbirke, iz katere bi lahko vsak potencialni uporabnik sam, po želji izdeloval DMR.

V okviru omenjenega dogajanja so se ob podpori Z. Stančiča začele moje raziskave o možnostih izdelave DMR iz obstoječih geodetskih podatkov na ZRC SAZU, ki sem jih nadaljeval pri K. Krausu na Tehniški univerzi na Dunaju Nekateri prvi rezultati pobude so objavljeni v literaturi: Podobnikar (1999b); Stančič et al. (1999) in Podobnikar et al. (2000). Ideja o izdelavi novega DMR Slovenije je počasi zorela tudi na GU (glej Mlinar 1999). Konec leta 2000 so se na ZRC SAZU ter na Geodetskem inštitutu Slovenije začele priprave za izdelavo elaborata z naslovom 'Digitalni model reliefa Slovenije' kot dokumentacije za izvedbo novega projekta.

V naslednjih razdelkih so podrobno opisani predvsem posamezni digitalni modeli višin (DMV), zapisani v obliki pravilne celične mreže, ki so na razpolago za Slovenijo. Trenutno namreč za našo državo razen redkih, manjših območij, ni na voljo prav nobenega pravega digitalnega modela reliefa (DMR). Obravnavni so v treh skupinah poglavij:

- DMR celotne Slovenije,
- DMR bližnje okolice Slovenije in
- lokalni DMR v Sloveniji.

Poseben razdelek (2.7.2) tega poglavja obravnava splošne možnosti uporabe DMR in analize, ki so bile napravljene z obstoječimi modeli višin v Sloveniji.

2.4 PREGLED DMR CELOTNE SLOVENIJE

Večina digitalnih modelov reliefa, natančneje, digitalnih modelov višin, ki pokrivajo celotno območje Slovenije, je omenjenih pri kronološkem pregledu DMR v Sloveniji, v razdelku 2.3. Take modele, ki pokrivajo posamezne države ali njihove dele, imenujemo tudi regionalne (Rihtaršič in Fras 1991). V nadaljevanju so podrobneje opisani pomembnejši digitalni modeli višin Slovenije, elementi kakovosti pa so tabelirani v dodatku C.

2.4.1 DMR 100

Ime *DMR 100* (digitalni model reliefa 100) nekoliko zavaja, saj gre le za enostaven digitalni model višin (DMV). V začetku leta 1972 je Inštitut Geodetskega zavoda SRS po naročilu sklada Borisa Kidriča izdelal nalogo z naslovom: 'Določitev optimalne metode prenosa podatkov in optimalne gostote osnovne mreže reliefa Slovenije za digitalno uporabo' (Podobnikar 1973). Prvotno naj bi bili podatki predvideni za obdelavo družbenih evidenc in za regionalno prostorsko planiranje, DMR 100 pa je bil predstavljen kot sestavni del prostorskoinformacijskega sistema – PIS (Banovec in Lesar 1975). Od raziskav do dejanske izdelave DMR ni minilo niti pol leta. Že leta 1973 so začeli z zapisovanjem DMR 100 za območje občine Domžale. Nadaljevali so za območje mesta Ljubljane in v enem letu pokrili 3,5 % Slovenije. Zajem podatkov so nadaljevali po posameznih občinah.

Do leta 1975 so zajeli podatke za okoli 30 % Slovenije, vendar se je potem projekt začasno zaustavil zaradi problemov s financiranjem (Banovec in Lesar 1975). V programu geodetskih del za obdobje 1976 do 1980 sploh ni bilo izdelave DMR 100. Problem je bil tudi v tem, da za nekatera območja Slovenije niso bili dokončani niti osnovni viri TTN 5 in 10 za izdelavo DMR 100 (Naprudnik 1978). Izdelava TTN se je namreč zavlekla v začetek osemdesetih let prejšnjega stoletja. Dodatni problemi so bili tudi pri zapisovanju podatkov DMR 100 na magnetni trak, pri katerem v začetku niso predvideli prostora za dodatne atribute, razen za višine. Preurejanje zapisa seveda ni bilo enostavno.

Med leti 1977 in 1978 je lastništvo podatkov prešlo z Geodetskega zavoda SRS na Republiško geodetsko upravo. Izdelava DMR 100 se je po petletnem zastoju spet pojavila v srednjeročnem programu geodetskih del za leta 1981 do 1985, skrbstvo nad projektom pa je prevzela Republiška geodetska uprava. Leta 1980 so premišljevali o izdelavi DMR 100 za območja zunaj Slovenije (Svetik 1980). V takratni državni koordinatni sistem vključen DMR 100 je bil za celotno območje Slovenije izdelan leta 1984. Zanj je bilo izdelano navodilo za vzdrževanje (Naprudnik 1984). Izdelek je vseboval še veliko grobih napak in območij brez podatkov, večjo kakovost pa je pridobil s popravki, ki so bili nazadnje vneseni leta 1997 (*GU* 2000).

Sprva se DMR 100 nikakor ni uveljavil. Že leta 1978 so ugotavljali, da večina organizacij ne pozna njegovega bistva in uporabnosti (Naprudnik 1978). Sčasoma se je tudi format zapisa izkazal kot neroden za vsakdanjo rabo. Kasneje, v devetdesetih letih prejšnjega stoletja, se je po zaslugi razvoja programskih orodij, ki omogočajo razne analitične operacije predvsem v okviru GIS ter z razvojem strojne opreme (osebni računalniki), uporabnost DMR 100 vsaj za nekaj časa precej povečala. Na žalost so se pri tem tudi pokazale njegove slabosti, kot so majhna ločljivost, problematična vertikalna točnost in natančnost, ki znašata v povprečju okoli 10 m, ter nehomogenost porazdelitve napak.

V okviru izdelave zasnove DMR 100 so zbirali med interpolacijo raztresenih točk in med »ročnim« čitanjem z interpolacijo plastnic ter kót s TTN 5 in 10. Za uporabo raztresenih točk so menili, da so premalo natančne ter da je postopek interpolacije prezahteven. Odločili so se za ročno odčitavanje podatkov iz kartografskega gradiva, ki naj bi bilo natančnejše in cenejše (Banovec in Lesar 1975), poleg tega pa optimalno glede na predviden namen uporabe.

Nadmorske višine DMV so bile zajete iz kartografskega gradiva z ročno digitalizacijo ob pomoči pravilne kvadrataste mreže, izrisane na prozorni risalni papir. V presečiščih mreže so odčitavali horizontalne položaje točk ter nadmorske višine. Slednje so linearno interpolirali (vizualno, brez interpolatorja ali računskih preverjanj) med plastnicami ali kótami (na zazidanih območjih; *GU* 2000). Predvidevali so, da se bo izdelava digitalnega modela višin razširila prek celotne Jugoslavije, zato je bil zapis organiziran primerno taki nadgradnji (Rihtaršič 1990). Podatke so zapisovali v posebej pripravljene obrazce in jih nato luknjali v kartice AOP (Hollerith). Podatke višin za vnos v datoteko so organizirali hierarhično po kvadrantih (enako velja tudi za DMR 500), in sicer v *rajone* (100 krat 100 km), *sekcije* (10 krat 10 km) in *enote* (1 krat 1 km), ki so vsebovale 100 *elementov* ali točk (DMR 500 le 4), kot višinskih podatkov. Vsaka točka DMR 100, interpretirana kot mrežna celica, ima torej površino 1 ha. Izhodišče rajonov je bilo v točki s koordinatama (5.300.000 m, 5.000.000 m) 5. cone takratnega državnega koordinatnega sistema. Nosilec tako organizirane datoteke v ASCII-zapisu je bil 9-sledni magnetni trak z gostoto 1600 BPI (Lukačič et al. 1982), na katerega so računalniško prenesli podatke z luknjanih kartic.

Podatke nadmorskih višin so čitali s TTN 5 in 10. Če teh ni bilo na voljo, so uporabljali Topografske karte merila 1 : 25.000 (TK 25) ali odčitavali točke na stereomodelih aerofotogrametričnih posnetkov (Radovan 1998). Vsi podatki višin so bili zaokroženi na cele metre. Celotna Slovenija je bila pokrita z mrežo 2.027.198 točk.

Pred 25 leti so bili v svetu na voljo le redki programi za upravljanje z DMR. V Sloveniji so bili že sredi sedemdesetih let prejšnjega stoletja izdelani programi za vzpostavitev in polnjenje datotek ter za kontrolo vnosa in polnjenja. Izdelali in uporabljali so tudi aplikativno domačo programsko opremo na računalniku CYBER (kasneje tudi na PDP 10 in 11 ter na DEC 10 in 11). Na podlagi luknjanih kartic so lahko izračunali osončenje, naklone površja (NAGEN), perspektivni prikaz (AKSON), profile ipd. Program SYMAP je računalniško izrisoval karte z alfanumeričnimi znaki. S programom SYMCO so izvedli razvrščanje in pripravo podatkov DMR za izris. Tak DMR se je imenoval PISDMR. Omenjeni program je omogočal »pravi« grafični računalniški izris podatkov (Banovec in Lesar 1975). Na IGF so za upravljanje z DMR 100 v začetku devetdesetih let izdelali program, ki je deloval na osebnih računalnikih, namenjen predvsem planerjem. Nekaj let prej so se v Sloveniji pojavili prvi (tuji) programi GIS, ki so povečali uporabnost (že zastarelega) DMR 100.

Kot je bilo že omenjeno, je vseboval leta 1984 izdelan DMR 100 veliko grobih napak, po nekaterih ocenah med 3 in 10 %. Grobe napake so se pojavljale predvsem zaradi naslednjih razlogov (Rihtaršič in Fras 1991; Radovan et al. 1994b):

- psihično zahtevno (rutinsko) in fizično naporno delo operaterjev (sklanjanje nad mizo); različna vestnost in natančnost operaterjev; ročni zajem podatkov ni tekel nepretrgoma in so ga izvajali različni ljudje (priučen kader), in sicer najprej uslužbenci Geodetskega zavoda SRS, kasneje pa študentje;

- večkratno prepisovanje podatkov; ročno čitanje, zapisovanje v posebne obrazce, luknjanje kartic ter zapis na magnetne trakove;
- program za kontrolo je lahko zaznal le najosnovnejše grobe napake, sicer pa ni bila izvedena nobena notranja ali zunanja kontrola kakovosti podatkov.

Večino napak so odkrili uporabniki ob svojem delu. Leta 1990 je Republiška geodetska uprava pri IGF naročila projekt odpravljanja grobih napak. Pri tem so bile najpogostejše naslednje (Radovan 1992c; Radovan et al. 1994b):

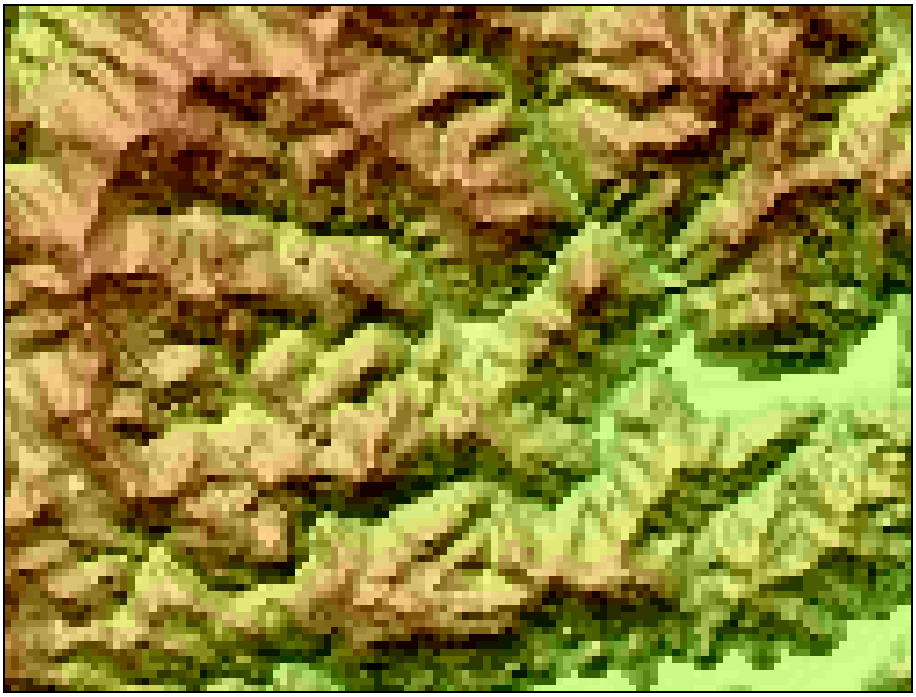
- napake odčitavanja:
  - napačno ocenjena smer padanja/naraščanja površja (1 do 100 m) – tipično na kraškem površju,
  - napačno odčitana glavna plastnica (50, 100 ali več metrov),
  - napaka pri štetju plastnic oz. mnogokratnika ekvidistance (5 m pri TTN 5 in 10 m pri TTN 10),
  - napačno odčitane plastnice na goratem površju (do 200 m ali celo več) – na območjih, kjer so plastnice zelo goste in brez oznake višine, ali na območjih, kjer se plastnic zaradi velikih naklonov površja ne da prikazati,
  - napaka zaradi malomarnosti pri odčitavanju »na oko« (50 m in več na večjih območjih) – primer je območje s površino približno 900 km^2 Goriških brd, kjer je bilo treba podatke na novo odčitati,
  - napaka zaradi namernega zaokroževanja višin (do polovice ekvidistance);
- napake shranjevanja:
  - napaka pri shranjevanju višin v računalniško datoteko (od 1 do celo 1000 m),
  - napaka zaradi rotacije ali zrcaljenja zapisa celotnega bloka 100 višin (1 do 1000 m) – napaka je nastala zaradi nepoznavanja formata zapisa ali malomarnosti in se jo je dalo precej enostavno vizualno odkriti;
- napake kartografskega gradiva:
  - nepravilne oznake plastnic in kot ipd.;
- druge napake.

Manjkalo je tudi nekaj območij, kot npr. okolica Kočevske Reke, za katero so izdelali DMR 100 nekoliko kasneje iz Topografskih kart merila 1 : 25.000 (TK 25). Poleg tega so DMR 100 brez interpolacije dodali rastrirano mrežo temeljnih geodetskih točk. To po mojem mnenju ni bilo popolnoma korektno, saj se tovrstni podatki niso ujemali s sredino mrežne celice ali vrednosti njenega povprečja, da bi pravilno ponazarjale ploskev reliefa. Pri kontroli kakovosti so se lotili naslednjih vizualnih in geometričnih metod (Radovan 1992c):

- aksonometrični izris blokov velikosti 10 krat 10 točk in vizualno odkrivanje grobih napak,
- aksonometrični izris več blokov skupaj za vizualno odkrivanje neskladij na robovih,
- nelinearna interpolacija DMR 100 in primerjava s prvotnim slojem DMR 100, pri čemer je bila toleranca odstopanja prilagojena tipu površja,

- na koncu še statistična kontrola popravljenega DMR 100 s 16.000 geodetskimi točkami, ki ležijo na zemeljskem površju.

Rezultati kontrole z geodetskimi točkami so pokazali, da znaša točnost nadmorskih višin približno 3,3 m za nerazgibano, 9,0 m za razgibano in 16,1 m za zelo razgibano površje. V prepadnih stenah Alp je bila pričakovana napaka seveda še precej večja. Točnost DMR kot celote je bila ocenjena na 10,0 m. Položajna natančnost DMR 100 pa naj bi znašala približno 1 m. V splošnem so ugotovili, da zaradi razgibanega površja težko najdejo grobe napake nadmorskih višin, manjše od 20 m. Odkrili so manj grobih napak od pričakovanj. DMR 100 so dopolnjevali in izboljševali do leta 1995 ter leta 1997 izvedli zadnjo revizijo (*GU* 2000). Aprila leta 1999 so ugotovili grobe napake DMR 100 na območju Golovca. Slika 8 prikazuje izdelek DMR 100, 'Relief Slovenije'.



Slika 8: Detajl zemljevida 'Relief Slovenije' v merilu 1 : 250.000 iz leta 1995, izdelanega iz DMR 100 (Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU). Prikazano območje meri 12,5 krat 9,5 km.

2.4.2 DMR 500

Tudi pri tem modelu gre tako kot pri DMR 100 za model višin. V Sloveniji smo DMR 500 dobili pravzaprav na račun neuspeha izdelave DMR 100. Ker njegovi izdelavi ni bilo videti konca, so začeli leta 1973 izdelovati DMR 500 za tista območja, koder DMR 100 še ni bilo. Pri tem so bili podatki iz obstoječih DMR 100 neposredno čitani v DMR 500. Osnova za zajem DMR 500 so bile Topografske karte merila 1 : 25.000 (TK 25). Poleg tega so na območjih, ki je pred vojno pripadalo Italiji, uporabljali tudi karte merila 1 : 50.000 (TK 50), saj tam ni bilo na razpolago zadovoljivih kart merila 1 : 25.000. Izdelava DMR 500 je slonela na že izdelani metodologiji, programski opremi in matematičnih osnovah za izdelavo DMR 100, kar je poenostavilo zagon (Lesar 1973).

DMR 500 je bil zaradi svoje ločljivosti namenjen le za prostorsko planiranje na republiški ravni (Banovec in Lesar 1975), natančneje za analize podatkov o »upravnih, gospodarskih, ureditvenih in drugih režimih«, ki naj bi bili vezani na »mrežo višinskih točk«. Take podatke naj bi obdelali, primerjali medsebojne odnose ter izvajali napovedovalne analize. Izdelek DMR 500 (in deloma tudi DMR 100) torej že v samih izhodiščih ni bil najbolj naklonjen potrebam tehničnih strok.

Izdelal ga je Geodetski zavod SRS, financirala pa sta ga Zavod SRS za družbeno planiranje in Raziskovalna skupnost Slovenije. Za celotno izdelavo modela so načrtovali 1170 ur dela, vendar so porabili nekajkrat več časa. DMR 500 so dokončali leta 1975 (Banovec in Lesar 1975). Od leta 1975 imamo torej na razpolago prvi digitalni model višin za celotno Slovenijo.

Predvidevali so, da bodo dosegli z odčitavanjem podatkov s TK 50 točnost višinskih podatkov od 0,8 (ravnine) do 9 m (naklon 45º), ter za TK 25 od 0,5 do 5,5 m. Omenjene teoretične podatke so dobili po empirični Koppejevi formuli (Peterca et al. 1974, 530; Kraus 1994)

$$\Delta H = \Delta H' + \Delta d \cdot \mathrm{tg}\alpha \qquad (2\text{-}1)$$

kjer je ΔH napaka nadmorske višine pri čitanju, $\Delta H'$ napaka določanja nadmorske višine (neodvisna od naklona površja), Δd napaka določanja položaja točke (le na mestu odčitavanja višine, odvisna od naklona površja) in α naklonski kot reliefa v točki. Zastavljenega cilja niso dosegli. Podatke so namreč sprva odčitavali uslužbenci Geodetskega zavoda SRS, kasneje pa študentje, s čimer se je močno poslabšala kakovost zajema podatkov. Podobno velja tudi za DMR 100, pri katerem bi morala biti točnost po enakih kriterijih med 0,3 in 1,5 m za merilo 1 : 5000, v resnici pa je bila neprimerno slabša (razdelek 2.4.1).

Dejansko oceno kakovosti DMR 500 je izdelal Zavod za družbeno planiranje – Področje za prostorsko planiranje – Dokumentacijski oddelek, kjer je bil model tudi shranjen. Ugotovili so, da se model dobro ujema s stvarnostjo na ravninskih ter slabše na gričevnatih območjih. Dober primer je grič Ljubljanskega gradu, ki je bil na DMR 500 skorajda neopazen. Kontrola kakovosti je bila za današnje čase zelo preprosta, saj zaradi tedanjih zmogljivosti programske opreme ni bilo pričakovati boljših metod. Kontrolirali so, da:

- največja nadmorska višina ni presegala 2880 m,
- so bile vse zajete točke v pravokotniku, očrtanemu mejam Slovenije,
- razlika med sosednjima točkama ni presegala 500 m.

DMR 500 zaradi slabe kakovosti (točnosti in ločljivosti) od trenutka izdelave DMR 100 ni več v rabi.

2.4.3 DMR 25

Na GU so se leta 1995 lotili izdelave natančnejšega digitalnega modela višin z imenom *DMR 40*, s celično mrežo ločljivosti 40 m za celotno Slovenijo. Sprva so bili ti podatki nadmorskih višin umeščeni v lokalni koordinatni sistem. Zajeti so bili fotogrametrično kot stranski proizvod pri izdelavi digitalnih ortofoto načrtov (DOF 5) – o teh metodah glej tudi Kosmatin Fras (1988; 1989). Osnova so bili posnetki cikličnega aerosnemanja Slovenije (CAS) v merilu 1 : 17.500 in v nekaterih primerih posnetki posebnih aero-

snemanj (PAS). Nadmorske višine so bile na gozdnatih območjih in v naseljih spuščene na nivo zemeljskega površja (Oven 1996).

Digitalni model višin so spočetka izdelovali brez posebnih navodil GU, pri čemer je prihajalo do neujemanj koordinatnih izhodišč, nedeljivosti dimenzij listov TTN s celično mrežo ločljivosti 40 m, podvajanj imen ipd. Šele leta 1997 so v tehnični dokumentaciji DOF 5 standardizirali točnost, izhodišče koordinatnega sistema in definirali kvadratasto celično mrežo ločljivosti 25 m. DMR 25 so izdelovali štirje izvajalci. Istega leta so z bilinearno interpolacijo interpolirali prvotni DMR 40 v DMR 25 ter izvedli transformacijo 361 listov kart TTN 5 v državni koordinatni sistem (DKS). S primerjavo prvotnih DMR 40 in interpoliranih DMR 25 so dobili povprečno vertikalno napako interpolacije, ki je znašala 0,25 m. Zbirka podatkov je organizirana na podlagi listov TTN 5. Do konca leta 2000 so izdelali približno tri četrtine od 3258 listov TTN 5. Glede na tempo izdelave, ki se je povečal z dodatnim denarjem Svetovne banke, bo DMR 25 predvidoma izdelan do konca leta 2001.

Metoda zajema DMR 25 se imenuje 'image matching' (Dupéret 2000; Baillard in Dissard 2000). Njeno delovanje je stopnjujoče z razpolavljanjem intervalov, od manjšega do vnaprej določenega končnega merila. Obstaja mnogo algoritmov (Hsia in Newton 1999), nekateri vključujejo tudi mehko logiko. Novejši algoritmi omogočajo popolno avtomatizacijo postopka pri upoštevanju tipa reliefa, jakosti signala, višine leta, paralakse in stopnje šuma (Dupéret 1999).

Podatki DMR 25, zapisani v posamezne datoteke, so omejeni z robovi listov TTN 5 (dimenzij 2250 krat 3000 m), število stolpcev in vrstic pa je deljivo s 25 m. Vsak rob lista je zajet tudi na sosednjem listu – skupaj dvakrat, vogali pa 4-krat. Morje je zabeleženo z višino 0 m, ozemlje na obmejnih listih zunaj Slovenije pa označeno kot da podatkov ni (Radovan in Berk 1998). Kakovost nadmorskih višin DMR 25 je predpisana s točnostjo ±1,0 m za odprt prostor in ±2 do ±3 m za gozdnata območja (*CEPP* 1997–2000). Točnost DMR 25 je manjša na listih, interpoliranih iz DMR 40. Leta 1998 so bile za nekaj listov izvedene naslednje kontrole kakovosti (Radovan in Berk 1998):

- kontrola pokrivanja listov z ustreznimi vrednostmi v celoti tako, da je vseh točk posameznih listov natanko 11.011;
- kontrola ujemanja nadmorskih višin na robovih in vogalih posameznih listov;
- kontrola smiselnosti: preverjanje negativnih vrednosti – za točke zunaj ozemlja Slovenije in druge; preverjanje ničelnih vrednosti – če res predstavljajo morje; preverjanje nenavadno visokih vrednosti.

Pri približno eni tretjini testiranih listov niso našli grobih napak. O položajni natančnosti višin do sedaj ni bilo opravljenih testov. Poleg tega tudi ni bila testirana kakovost modela na območjih vegetacije, vrtač, na urbanih območjih in niso bile analizirane morebitne napake zaradi senc sončne svetlobe ipd. Pomemben povod za izboljšavo DMR 25 so bile neodvisne statistične kontrole kakovosti, jih je leta 1999 in 2000 izvajal ZRC SAZU (Stančič et al. 1999; 2000c) ter leta 2000 Geodetski inštitut Slovenije. V letu 2000 so začeli izdelovati DMR 25 za več listov TTN 5 hkrati, kar zmanjšuje možnost pojavljanja napak na robovih listov. Povečal se je tudi tempo izdelave, saj so v letu 2000 izdelali kar za okoli 1500 listov TTN 5 DMR 25.

2.4.4 'SPOT DMV 20'

Z digitalnim modelom višin 'SPOT DMV 20' razpolagajo na Ministrstvu za obrambo RS. Leta 1995 so namreč za pridobitev DMV izbrali francosko podjetje SPOT Image (glej tudi razdelek 3.1.2), ki nosi tudi vse avtorske pravice (vsako uporabo podatkov zunaj Ministrstva za obrambo je treba javiti). Ocenili so, da je tovrstna metoda daljinskega zaznavanja za njihove potrebe najprimernejša ter tudi to, da je radarsko ali lasersko profiliranje površja časovno prezahtevno. Projekt so končali julija leta 1999 (Rozman 2000b).

DMV je bil izdelan s »klasičnimi« postopki digitalne fotogrametrije iz stereoparov satelitskih posnetkov SPOT (Rihtaršič in Fras 1991, 20). Prvi izmed satelitov SPOT je bil izstreljen v orbito leta 1986 (Gens 1998), temu pa so vsake tri do štiri leta sledili novi. Uporabljajo tehniko snemanja v vzdolžni smeri (»pometanje«) z vrstičnimi senzorji CCD. Za posnetke je značilna visoka prostorska ločljivost (10 m), zmožnost usmerjanja senzorjev in majhno število spektralnih kanalov. Podatki satelitov SPOT so uporabni za izdelavo DMV večjih območij.

Število iteracij je bil zelo pomemben dejavnik točnosti in natančnosti izdelanega DMV. V horizontalni smeri je primerljiv z DTK 25 ali DTK 50, vertikalna točnost celotnega območja 'SPOT DMV 20' pa je bila ocenjena na ±10 do ±14 m. 'SPOT DMV 20' naj bi bil za zdaj najboljši izdelek satelitov SPOT na območju Alp. Največji problemi pri izdelavi so bili: oblaki (pokrivanje površja), sneg (preveliko sevanje za obdelavo), voda (odbijanje sončne svetlobe) ter uporaba posnetkov za relativno dolgo obdobje treh let (problem spreminjanja vegetacije, pokrajine). Ločljivost 20 m (prevzorčena iz 10 m) je večja, kot jo ima Nato za Evropo (30 m). DMV sega za potrebe vojaških radarjev vsaj 80 km zunaj meja Slovenije, s čimer predstavlja Slovenija le 16 % celotne površine DMV.

Na Ministrstvu za obrambo RS uporabljajo 'SPOT DMV 20' za prostorske analize kot so izračuni prehodnosti, naklonov in orientacij površja ter pokritosti z radijskim signalom, za analizo radarske vidnosti ipd. (Rozman 2000a). Na Uradu za statistiko RS so ga uporabljali pri izdelavi karte pokritosti tal, na Gozdarskem inštitutu ter Fakulteti za računalništvo in informatiko pa za simulacije gozdnih požarov.

2.4.5 InSAR DMV 25

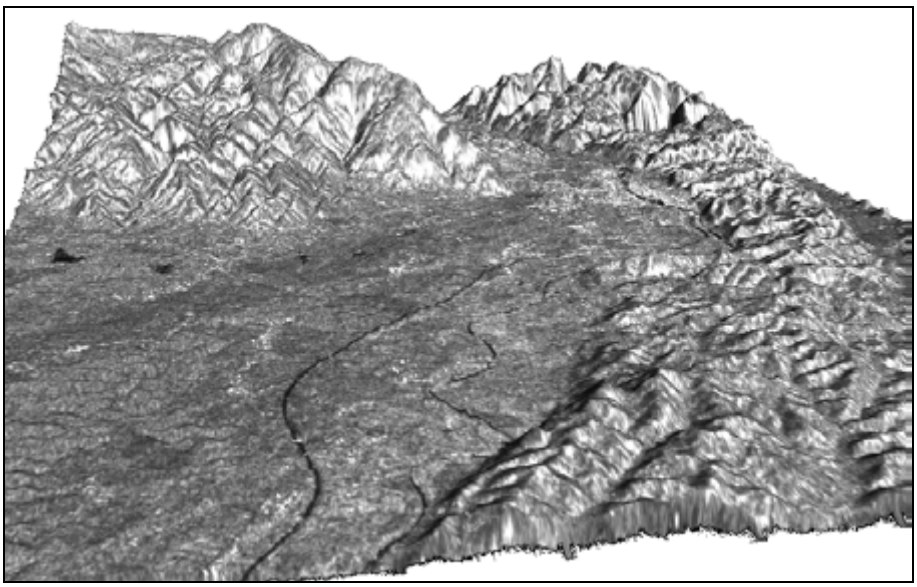
Pred kratkim se je kot cenovno ugodna in relativno natančna alternativa klasičnim metodam izdelave modelov višin pojavila radarska interferometrija. Odvisno od razgibanosti površja lahko v najboljših razmerah dosežemo horizontalno točnost okoli ±1 m in vertikalno od ±1 m na ravninskih območjih ter do ±10 m v goratem svetu. Problemi izdelave so predvsem v gorskem svetu, kjer je treba za odpravo radarskih senc uporabiti več posnetkov. Prednost izdelave DMV iz radarskih satelitskih posnetkov je propustnost večjega dela vegetacije za radarsko valovanje, medtem ko se v urbanih območjih odbija od streh stavb.

V letih 1999 in 2000 je bil na ZRC SAZU za GU izdelan Interferometrični digitalni model višin Slovenije, InSAR DMV 25, z ločljivostjo 25 m (Stančič et al. 2000c). Za telekomunikacijsko družbo Mobitel, d. d. pokriva omenjeni DMV tudi 5-kilometrsko okolico Slovenije (Stančič et al. 2000a). InSAR DMV 25 je bil izdelan ob uporabi posnetkov satelitov ERS-1 in ERS-2 Evropske vesoljske agencije – ESA (slika 9). Satelit

(sedaj le še ERS-2) kroži na višini okoli 770 km nad površjem Zemlje. Njegov aktivni mikrovalovni instrument umetno-odprtinski radar (SAR) deluje s frekvenco 5,3 GHz, torej z valovno dolžino 5,6 cm (pas C) ter naklonskim kotom 23º. Nominalna velikost piksla posameznega »surovega« radarskega posnetka znaša 26 m. Interferometrično obdelavo radarskih posnetkov razdelimo v grobem v naslednje postopke (Oštir 2000; Oštir et al. 2000a):

- izbira »surovih« parov posnetkov,
- koregistracija posnetkov,
- priprava zunanjega modela višin (DMR 100),
- računanje interferograma,
- izboljšanje interferograma,
- razvijanje faze,
- ustvarjanje digitalnega modela višin,
- geokodiranje,
- združevanje interferogramov in kontrola kakovosti.

Točnost nadmorskih višin DMV je bila kontrolirana predvsem z velikim številom geodetskih točk, ki jih ima na razpolago GU. Znaša nekaj nad ±5 m (kar je v mejah pričakovanega), vendar je zunaj meja Slovenije nekoliko slabša, ker ni bilo na razpolago primernega zunanjega (referenčnega) modela višin. Točnost InSAR DMV 25 je torej precej boljša od obstoječega DMR 100 (Stančič et al. 2000c; 2000d). Vizualno deluje InSAR DMV 25 pravilno in homogeno. Kljub vsemu lahko na njem zasledimo grobe napake, ki so posledica napak pri registraciji posnetka, vremenskih pogojev ter vlažnosti zemljišč, občutljivosti posnetkov na prevodnost in dielektričnost površja, vpliva vegetacije, zgradb, električnih napeljav in železniških prog ter zaradi razgibanosti površja, ki povzroča pojave prevračanja (radar prej zazna vrh gore kot njeno vznožje v isti črti), senc (strma pobočja gora), zrcalnih odbojev (ravne površine), pravokotnih odbojev na smer radarskega signala ipd.



Slika 9: Radarski posnetek ERS-1, zajet 12. marca 1997, napet na InSAR DMV 25. Na perspektivnem pogledu z jugovzhoda je prikazana okolica Maribora (© ESA).

2.4.6 InSAR DMV 100

Na ZRC SAZU je bil konec leta 2000 po naročilu GU izdelan digitalni model višin InSAR DMV 100, z ločljivostjo 100 krat 100 m. Izdelan je bil z interpolacijo InSAR DMV 25 po metodi kubične konvolucije. Mišljen je kot zamenjava za obstoječi DMR 100 GU. DMV dobro opisuje povprečne vrednosti posameznih mrežnih celic glede na dejansko površje Zemlje (Stančič et al. 2000b).

2.5 DMR BLIŽNJE OKOLICE SLOVENIJE

Modeli reliefa bližnje okolice Slovenije so pomembni predvsem za razne prostorske analize na območju države, kot je npr. izračun vidnosti, za gravimetrijo (odkloni navpičnice) ali za kartografske namene. Obravnavani so le zanimivejši modeli, ki so bili večinoma izdelani v Sloveniji.

Na Geografskem inštitutu Antona Melika ZRC SAZU so izdelali DMV okolice Slovenije z digitalizacijo plastnic Pregledne karte Slovenije v merilu 1 : 400.000 – PK 400 (Fridl in Perko 1996). Zajemali so plastnice z ekvidistanco 100 m za hribovite ter 25 m za ravninske predele. Digitalizirali so tudi nekatere značilne črte in točke. Tako pripravljene podatke so interpolirali v celično mrežo ločljivosti 100 m.

Leta 1997 so začeli pri GU s projektom transformacije obstoječih modelov reliefa sosednjih držav v slovenski državni koordinatni sistem – DKS (z Gauss-Krügerjevo projekcijo). Pri tem gre za predele v bližini slovenske meje. Namen omenjenega projekta je bil izdelava kartografskih podlag. Pri tem je šlo predvsem za senčenje reliefa za Pregledno karto Slovenije v merilu 1 : 250.000 (PK 250). Madžari so ponudili digitalni model višin, izdelan iz topografskih kart v merilu 1 : 100.000 z ločljivostjo 100 m, Avstrijci so postregli z DMV ločljivosti 50 m za vso državo, Italijani so ponudili vojaški DMV z ločljivostjo 20 m v UTM-sistemu, Hrvatje pa so predlagali DMV z ločljivostjo 1000 m, obstajal pa naj bi še DMV s celično mrežo 6" ($\delta\varphi$) krat 7,5" ($\delta\lambda$), kar znaša okoli 185 krat 165 m. Le del avstrijskega DMV je bil transformiran v slovenski državni koordinatni sistem (DKS) in pripojen k DMR 100 (Radovan et al. 1997; Radovan in Stopar 1997). Danes bi lahko manjkajoče podatke zapolnili z uporabo globalnega DMV misije SRTM ali z DMV po metodologiji izdelave InSAR DMV 25.

InSAR DMV 25 s 5-kilometrsko okolico Slovenije uporablja Mobitel, d. d. za projektiranje »vidnosti« signalov mobilne telefonije v okolici baznih postaj (Stančič 2000a). Približno 80 km okolice Slovenije pokriva tudi 'SPOT DMV 20' za analize delovnih območij vojaških radarjev Ministrstva za obrambo RS (Rozman 2000b; razdelek 2.4.5).

2.6 LOKALNI DMR V SLOVENIJI

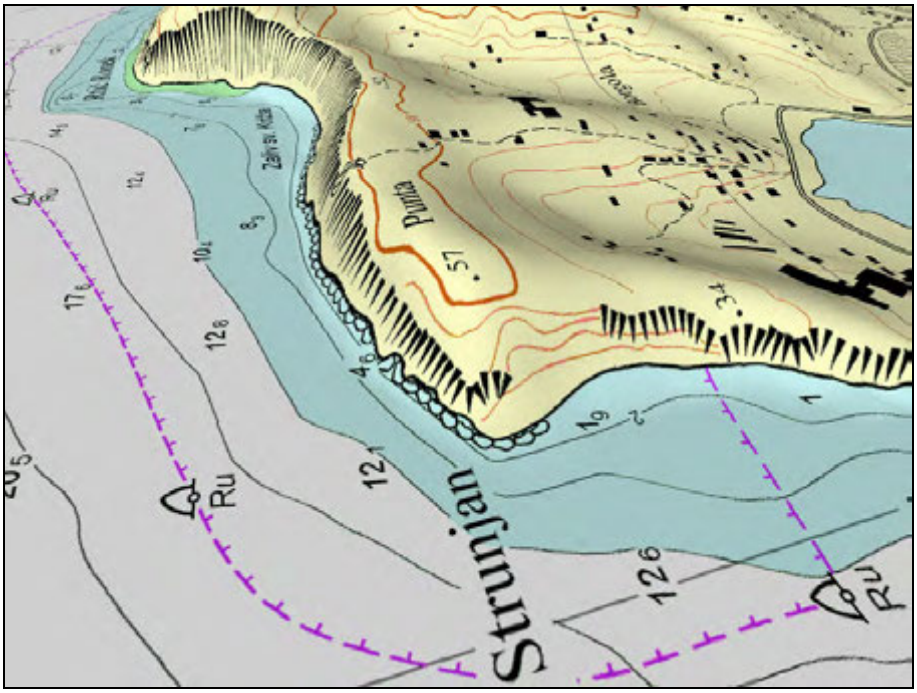
Za območje Slovenije obstaja kar nekaj lokalnih digitalnih modelov višin. Največ jih je nastalo za izpolnitev posebnih nalog posameznih ustanov in podjetij. Kot je bilo omenjeno v razdelku 2.3 in je očitno iz nadaljevanja tega razdelka, bi jih bilo precej manj, če bi imeli ustrezen model na državni ravni. Izdelanih je bilo seveda še precej več lokalnih DMV kot jih je opisanih v tem razdelku. Nekaj izmed njih je naštetih tudi v razdelku 2.7. Prvi je bil leta 1975 izdelan *DMV za območje Doba pri Domžalah* z ločljivostjo

10 m. Podatki zanj so bili odčitani iz Topografsko katastrskega načrta (TKN) merila 1 : 1000.

DMR 20 in *DMR 10* sta nastala kot izdelka internih projektov in uporabe GU. Podatki so bili v obeh primerih zajeti fotogrametrično iz posnetkov PAS, merila 1 : 6000 do 1 : 12.000. DMR 20 je izdelan za območje katastrske Občine Šempeter – Novo mesto (10 listov TN 1 : 2000). Skupaj meri 14 km^2, s horizontalno natančnostjo ±0,4 m in vertikalno ±0,5 m. DMR 10 je izdelan za vso slovensko obalo, natančneje 200 m obalni pas, kar znaša 20 km^2. Horizontalna natančnost je ocenjena na ±0,3 m in vertikalna na ±0,5 m (*CEPP* 1997–2000).

DMR 10 mesta Ljubljane je za Mestno občino Ljubljana, Oddelek za stavbna zemljišča izdelal Geodetski zavod Slovenije, d. d. Uporabili so Bazo topografskih načrtov velikih meril (1 : 500 in 1 : 1000), ki vsebuje kóte in plastnice, na manjših območjih pa so uporabili TTN 5 in fotogrametrične metode. Naštete podatke so interpolirali v celično mrežo ločljivosti 10 m.

Mestna občina ima v lasti tudi *3D model mesta Ljubljane*. Trenutno je izdelana okolica Tržaške in Dunajske ceste. Izdelan je za razne potrebe, kot so vizualizacije arhitekturnih posegov ali izdelava informacijskega sistema mesta. Viri so aeroposnetki, terestrični posnetki, TTN 5 ter tridimenzionalni podatki, zajeti v merilu 1 : 500 (*CEPP* 1997–2000; Radovan et al. 1998; Radovan in Janežič 2000). Mestna občina ima v lasti tudi *DMR 10 Ljubljanskega gradu*, izdelan iz vektoriziranih plastnic Topografske baze Ljubljane in s fotogrametričnimi domeritvami.



Slika 10: Pomorska karta Koprskega zaliva, napeta prek InSAR DMV 25. Perspektivni pogled z vzhoda (naslovnica zbornika Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1999–2000, © Ministrstvo za promet in zveze).

Digitalni model reliefa Triglavskega narodnega parka uporabljajo za potrebe varstva narave in prostorskega načrtovanja na upravi Triglavskega narodnega parka. V vektorsko strukturo so digitalizirali plastnice in geodetske točke s TTN 5 in 10. Zbirka podat-

kov vsebuje približno 3,5 milijona točk, iz katerih v odvisnosti od potreb smiselno izdelujejo digitalne modele višin z ločljivostjo 10 m ali manj (Dobravec 2000).

Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji, d. d. (DARS, d. d.) izdeluje *detajlne meritve* zemeljskega površja in cestnih objektov v bližnji okolici tras avtocest. Iz tako dobljenih točk in plastnic se da izdelati digitalni model višin ali reliefa.

GU bo imela do leta 2002 dokončano *digitalno zbirko morskih globin*, iz katere bo možno izdelati digitalni batimetrični model reliefa. S tem bo z digitalnimi podatki pokrito tudi podmorsko površje in s tem res celotna Slovenija. Projekt sofinancira Ministrstvo za promet in zveze, vsi podatki pa bodo zajeti z dokončno izdelavo pomorskih kart RS (slika 10).

2.7 Uporaba DMR

2.7.1 Možnosti uporabe DMR

Možnosti za uporabo DMR je zelo veliko. Zanimivo je, da DMR za klasično geodezijo zaradi relativno majhne natančnosti podatkov o višinah v večini primerov ni pomemben. Dobrodošel pa je v strokah, ki uporabljajo časovno in prostorsko vezane podatke. Prva uporaba DMR je konec 50. let sledila ideji o projektiranju avtocestne infrastrukture. Nato zasledimo njegovo uporabo na najrazličnejših področjih, ki vključujejo prostorske in druge znanosti. Nekaj najbolj tipičnih področij uporabe je (Banovec in Lesar 1975; Rihtaršič in Fras 1991; Rihtaršič 1991a; 1991b; Skidmore 1997 ipd.):

- prostorsko in regionalno načrtovanje,
- načrtovanje infrastrukture (načrtovanje letalskih linij), transport, navigacija, simulacije letenja,
- informacijska in komunikacijska tehnologija, telekomunikacije (vidnost oddajnikov, baznih postaj),
- politika, seznami naslovov, vojska, industrija, gospodarstvo,
- turizem, socialne in kulturne aktivnosti, načrtovanje območij in krajev zanimanja (hoteli, bencinske črpalke, planinske poti, območja za rekreacijo),
- statistika (ocene tveganja),
- geodezija, (izdelava digitalnega ortofota in plastnic, za kataster, geokodiranje, register geodetskih točk),
- kartografija (izdelava načrtov, kart, zemljevidov, atlasov, turističnih kart, geografskih leksikonov, topografija, perspektivnih prikazov ter za prikaze plastnic, senc, barvnih lestvic),
- gradbeništvo (načrtovanje cest in drugih komunikacij, profili površja),
- geografija, geomorfologija (študije oblikovanosti zemeljskega površja), preučevanje erozije, gorotvorni procesi,
- hidrologija, hidrogeologija, oceanografija, glaciologija,
- meteorologija (modeli temperatur, vetrov, padavin, podnebja, osončenja),
- naravne nesreče (širjenje požarov, simulacija plazov) in nevarnosti,

- simulacije posegov v prostor (zajezitev rek, izgradnja cest, načrtovanje kamnolomov),
- biosfera, ekologija, okolje,
- biologija (študij rastlinstva in živalstva), kmetijstvo (agrikultura), gozdarstvo (odvisnost rasti gozda), naravni parki in rezervati,
- pedologija, paleontologija,
- rudarstvo, geologija (podmorska, inženirska), mineralogija in petrologija,
- geofizika, tektonika, geokemija,
- arheologija itd.

2.7.2 Kronološki pregled uporabe DMR v Sloveniji

V Sloveniji zasledimo od leta 1975 dalje, ko je bil izdelan DMR 500, uporabo modelov reliefa na mnogih izmed področij, navedenih v razdelku 2.7.1. Prve analize so bile izdelane za podporo prostorskemu planiranju na republiški ravni. Uporaba se je povečala z uvedbo tehnologije GIS v drugi polovici osemdesetih let prejšnjega stoletja. Pospešila jo je možnost uporabe GIS na osebnih računalnikih v začetku devetdesetih let. Prav orodja GIS so pomenila več možnosti analiz zemeljskega površja Slovenije, ki so se jih najtemeljiteje lotili geografi. V naslednjih odstavkih so kronološko podani opisi pomembnejših uporab modelov reliefa v Sloveniji.

Poleg programov za upravljanje DMR 100 in DMR 500 so na Geodetskem zavodu SRS izdelali programe za računanje in kartiranje naslednjih lastnosti površja (Banovec in Lesar 1975): naklonov, ekspozicij (azimut), osončenja (po poenostavljenih enačbah z upoštevanjem naklona in ekspozicije) ter povprečnih višin sonca čez vse leto (enačbe je posredoval B. Kilar iz FAGG), združevanje nagibov ter azimutov in osončenja v določene kategorije, določanje profilov, aksonometrični prikaz in prebod površja s premico ali geometrijskim telesom (načrtovanje tras cest).

Podobne programe za izračun raznih lastnosti reliefa so nekoliko kasneje izdelali na IGF (Radovan 1992c). Ti so bili analitično nekoliko sposobnejši, saj so omogočali prekrivanje do petih podatkovnih slojev. Tudi izris je bil precej bolj dodelan, saj je poleg aksonometričnih prikazov samega površja omogočal prikaz točk, črt in območij v raznih barvah na samem površju. Omenjeni programi so se približevali funkcionalnosti komercialnih orodij GIS.

Aplikacijo za izračunavanje vidnosti s posameznih oddajnikov ob uporabi DMR 100 je za RTV napravil J. Rozman iz IGF (Radovan 1992c). Vidnost (sprejem signala) je prikazana z izrisom žarkovja ali senc signala v aksonometričnem prikazu. Pri upoštevanju ukrivljenosti Zemlje in refrakciji je bilo mogoče izračunati vidnost do oddaljenosti 75 km.

Hidrometeorološki zavod RS uporablja DMR 100 kot robni pogoj pri določanju in spremljanju vremenskih pojavov. Pri tem so najzanimivejši veter, ter vpliv in napovedovanje onesnaženja (Rihtaršič in Fras 1991). Model reliefa je lahko zelo uporaben tudi za napovedovanje in modeliranje karavanškega fena ipd.

Leta 1980 so se na Geodetskem zavodu SRS lotili računalniškega senčenja reliefa Slovenije (Bilc et al. 1981). Praktično je tehnologijo preizkusila A. Stopar v diplomski nalogi. Ocenili so, da je bil prikaz računalniško izdelanih senc na osnovi DMR 100 in 500

prepričljivejši in natančnejši od ročnega senčenja. Na programski opremi Intergraph/MicroStation so preizkušali različne analitične tehnike računalniškega senčenja na primeru okolice Bleda (Debelak 1993).

Leta 1984 so na računalniku DEC s pomočjo DMR 100 izračunali ploskev geoida v Sloveniji (Radovan 1992c). Zanimala jih je predvsem gravitacija mase kamnin v bližnji in daljni okolici astrogeodetskih točk.

Leta 1985 je bil za računalnike DEC ter kasneje za osebne računalnike izdelan program za izdelavo plastnic iz DMR (Šumrada 1989). Za osnovo je lahko uporabljal DMR, zapisan v celično mrežo ali nepravilno trikotniško mrežo (TIN). Tako izdelane plastnice so bile večinoma kartografsko pravilne. Predvsem zaradi tedanjih prepočasnih računalniških procesorjev so program dejansko uporabili le na nekaj manjših območjih.

S senčenjem so se ukvarjali tudi na IGF (Rozman in Radovan 1985). Program je bil najprej napisan v fortranu za računalnik DEC, leta 1991 pa so ga prevedli v turbo pascal za raven osebnih računalnikov (Radovan 1992a). Poskusno so tiskali karto Občine Ljubljana – Šiška in izsek Julijskih Alp ob upoštevanju psihološko-kognitivnih elementov percepcije senčenja. Z izboljševanjem metod senčenja so se ukvarjali vse do današnjih dni. V začetku je bila problematična reprodukcija, algoritmi senčenja pa nikoli. Boljši prikaz senc na topografskih kartah je bil omogočen z izboljšavo zgoščevanja celične mreže DMR 100 pri uporabi metode modificirane polinomske interpolacije (Berk 1997).

Na Oddelku za arheologijo Filozofske fakultete v Ljubljani so se leta 1989 s programom Idrisi lotili vzpostavitve zbirke podatkov o naravnem okolju za potrebe regionalnih arheoloških analiz. Med drugimi podatkovnimi sloji so uporabljali tudi DMR 100, ki se je za tovrstne analize vsaj v primerjavi z drugimi sloji izkazal kot primernega. Ugotovili so, da bi za regionalne analize zadoščal DMV z ločljivostjo 30 m, za analize na mikroregionalni ravni pa z ločljivostjo 5 m (Dular et al. 1992).

Na Inštitutu Jožef Stefan so v začetku devetdesetih let izdelali na podlagi DMR 100 trirazsežne prikaze ekološko ogroženih delov Slovenije kot so Krško, Žirovski vrh in Šoštanj (Rihtaršič in Fras 1991).

Na Oddelku za geografijo Pedagoške fakultete v Mariboru so se ukvarjali s prostorskimi analizami leg vinogradniških površin in njihovega spreminjanja med leti 1824 in 1985. Omejili so se na dve testni območji v srednjih Slovenskih goricah, velikosti nekaj kvadratnih kilometrov. Osnovni sloj za analize je bil DMV ločljivosti 50 m, ki so ga izdelali sami in ga nato primerjali s slabšim DMR 100. Iz izdelanega DMV so napravili podatkovne sloje absolutnih nadmorskih višin, relativnih višin, naklonov površja, ekspozicij površja ter globalnega osončenja (Žiberna 1992). Naštete sloje in podatke o vinogradniških površinah so analizirali v GIS (Idrisi).

Prav tako je bilo leta 1992 analiziranih nekaj algoritmov za iskanje ekstremov na testnem območju DMR 100 (Krevs 1992). Ugotovljeno je bilo, da je njihovo iskanje močno odvisno od samega namena. DMR 100 so uporabljali in ga še vedno uporabljajo gozdarji na ljubljanski Biotehniški fakulteti, Oddelku za gozdarstvo. Vključili so ga v zasnovo prostorskega informacijskega sistema za gospodarjenje z gozdom in gozdnato krajino – GOZDIS (Hočevar et al. 1992).

V letih 1991 in 1992 so se v okviru raziskovalne naloge 'Geografski informacijski sistemi' na Geografskem inštitutu Antona Melika ZRC SAZU ukvarjali z analizami

DMR 100 in 500, kakršne so zanimive za geografe. Relief je zanje najpomembnejša sestavina pokrajine, DMV pa najpomembnejši podatkovni sloj v GIS. Uporabljali so program Idrisi. Glavni sklopi raziskav, v katere so bili vključeni tudi DMV, so se nanašali na geomorfološke značilnosti Slovenije, na povezavo reliefa in poselitve in na geoekološke raziskave (primer Volčji potok). Na podlagi naštetih DMV so preučevali značilnosti spreminjanja naklonov površja po stometrskih višinskih pasovih v Sloveniji (Perko 1992b). Ugotovili so, da povprečni naklon stometrskih pasov z nekaj malimi izjemami narašča od najnižjih k najvišjim pasovom. Omenjeno ugotovitev so podkrepili z opisom značilnosti naravne pokrajine v Sloveniji. Izračunali so povprečne naklone osmih ekspozicij površja (Perko 1993; 1994). Rezultate se da interpretirati s smerjo glavne slemenitve Slovenije ter postavitvijo meje Slovenije z Italijo in Avstrijo v Alpah. Izračunali so tudi povprečno nadmorsko višino Slovenije ter mnogo drugih parametrov površja Slovenije (Perko 1992a).

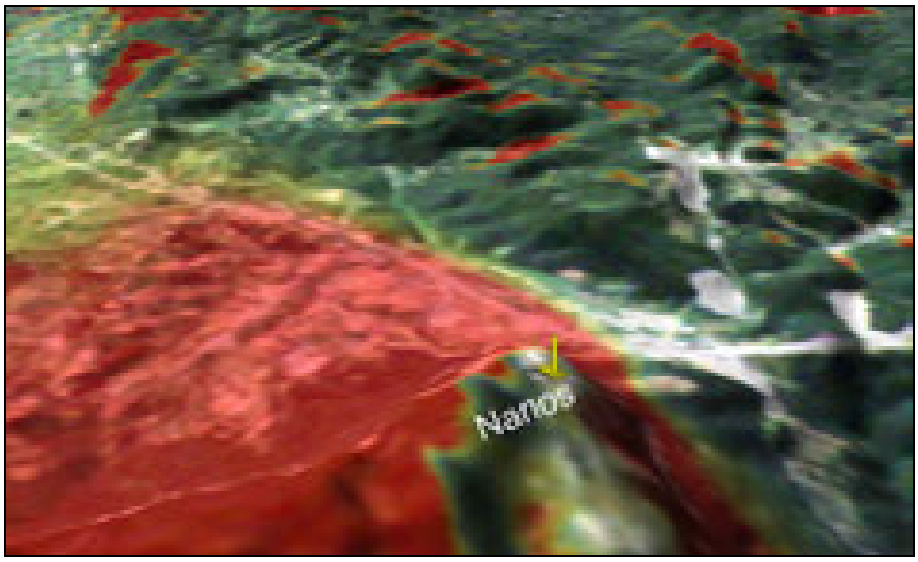
Nadaljnja raziskava je preučevala porazdelitev poselitve prebivalstva (s pomočjo tedanje evidence hišnih številk, t. i. EHIŠ, danes del CBPS) glede na reliefne značilnosti, kot so stometrski višinski pasovi in osončenost površja (Gabrovec 1991; 1996). Testno območje je bilo Polhograjsko hribovje. Preučevali so tudi možnosti pojavljanja naravnih nesreč pri upoštevanju značilnosti površja. Izračunali so naklone površja in ugotavljali ogroženost Slovenije zaradi usadov glede na povprečni ali največji naklon vsakega kvadratnega kilometra. Poleg tega so ugotavljali delež prebivalstva po popisih od leta 1880 dalje glede na ogroženost območij, na katerih živijo (Perko 1991; 1992c). Podrobnejše analize površja, podobne opisanim, so izdelali za Arboretum Volčji potok in pri tem uporabili DMV ločljivosti 5 m, izdelan iz plastnic TTN 5.

Geologi so uporabljali DMR 100 kot enega izmed vhodnih podatkov pri modeliranju ogroženosti in tveganja plazov na območju Slovenije (Ribičič in Šinigoj 1996). Prav tako so DMR 100 uporabljali za modeliranje na Statističnem uradu RS pri izdelavi karte rabe tal v spodnji Vipavski dolini (Pavlin 1996).

Za testno območje okolice Ljubljane in Krima je bila izdelana simulacija napak DMR 100 z metodo Monte Carlo. Iz analiz vidnosti z oddajnika na Krimu se da npr. ugotoviti, da majhna sprememba položaja oddajnika izrazito vpliva na pokritost s signalom, ter da igra natančnost DMV pomembno vlogo pri določanju najboljšega položaja oddajnika (Podobnikar 1998b; 1999c).

Na testnem območju Polhograjskega hribovja je bila obravnavana prostorska porazdelitev hiš in prebivalstva glede na nadmorsko višino, oddaljenost od izvirov in potokov, naklon površja, ekspozicijo površja, osončenost površja ter kraška ali nekraška tla. Teoretično gre pri tem za testiranje statistične značilnosti vzorcev točk v prostoru v odvisnosti od geomorfoloških lastnosti. Rezultati empiričnih testiranj Monte Carlo so bili primerjani s tradicionalnimi statističnimi testi. Najpomembnejši sloj pri analizi je bil DMR 100 (Podobnikar 2000).

Natančen model višin in karta rabe tal sta najpomembnejša podatka o naravnem okolju pri načrtovanju mobilnega telefonskega omrežja. InSAR DMV 25 je bil uporabljen pri simulacijah vidnosti z metodo Monte Carlo. Primerjava simulacij z merjenji na terenu kaže na pomen uporabe prostorskih podatkov visoke ločljivosti za kakovostno načrtovanje omrežja. Posebna pozornost je bila posvečena vplivu bližnje okolice oddajnika na kakovost načrtovanja in uglaševanju modela širjenja valovanja (Oštir et al. 2000b; slika 11).



Slika 11: Simulacija vidnosti (Monte Carlo) z oddajnika na Nanosu (pokončna rumena črta). Bolj rdeče površje pomeni potencialno slabšo vidnost. Za podlago je satelitski posnetek Landsat, napet prek InSAR DMV 25. Perspektivni pogled je s smeri severozahoda.

Podroben in natančen digitalni model višin je bil eden izmed pomembnih podatkovnih slojev pri izdelavi arheološkega napovedovalnega modela za potrebe načrtovanja avtocestnega odseka v Prekmurju. Z vključitvijo drugih spremenljivk naravnega okolja so bile napovedane možne lokacije arheoloških najdišč (Veljanovski et al. 2000).

Leta 2000 so iz vektoriziranih platnic ter kot TTN 5 in 10 izdelali 'Digitalni model reliefa Triglavskega narodnega parka' (Dobravec 2000; razdelek 2.6). Uporabljajo ga pri vizualizaciji območij, ugotavljanju naklona kmetijskih površin pri določanju nadomestil za vzdrževanje kulturne krajine (npr. pri ročni košnji travnikov), preučevanju nekaterih tipov habitatov (skalovja kot primernosti za gnezdenje ogroženih ptic ali osončenosti površja pri iskanju potencialnih ali nadomestnih habitatov za nekatere redke rastlinske vrste), analizi možnih lokacij arheoloških najdišč, analizi vidnosti za učinkovitejši nadzor območja in zbiranje podatkov ter pri izboljšavi aeroposnetkov za boljšo interpretacijo (regulacijo osvetljenosti območij).

3 OCENA MOŽNOSTI IZDELAVE DMR SLOVENIJE

To poglavje je nekakšen zaključek predhodnega dela disertacije in izhodišče za nadaljevanje. Ocena možnosti izdelave DMR Slovenije pomeni torej podrobnejšo analizo prvega dela disertacije ter nekaterih analiz, vizij, ekspertiz in usmeritev. Šele iz vseh znanih dejstev lahko sledijo podrobnejši cilji ter ocene možnosti izdelave, ki natanko opredelijo smernice za nadaljnje delo. Te so natančneje predstavljene.

3.1 ANALIZA UPORABE IN VIZIJ

V 2. poglavju je bilo navedenih nekaj preteklih dejstev in dogodkov, ki so vplivali na razvoj slovenskega DMR. Zanimivo je vedeti, da so izdelali prve raziskovalne naloge s predstavitvijo in ovrednotenjem pomena DMR za gospodarstvo pred začetkom izdelave DMR 100 in DMR 500. Prvo nalogo so objavili v letu 1972 in naslednjo v letu 1975, kar je razvidno iz publikacije Banovec in Lesar (1975).

Ta razdelek obravnava najprej najzanimivejše rezultate nekaterih anket. Lastnega anketiranja nismo izvajali, ker smo menili, da prav zaradi podobnega sedanjega stanja na področju razpoložljivih modelov reliefa, kot v času izvajanja omenjenih anket, ni bistvenih sprememb. Ankete so dodatno analizirane z rezultati uporabe digitalnih modelov reliefa v zadnjih letih. Povzeti so rezultati ekspertiz z vizijami izdelave DMR/DMV, v večini primerov iz prve polovice devetdesetih let prejšnjega stoletja. Predstavljene so tudi usmeritve in vizije izdelave DMR v svetu.

3.1.1 Rezultati anket in uporabe

Analizirajmo rezultate dosegljivih anket o izdelavi DMR Slovenije dveh (skupin) avtorjev. V obeh primerih gre za anketi, v katerih je sodelovalo le nekaj potencialnih uporabnikov DMR. Leta 1990 je anketo med 52 potencialnimi uporabniki in delovnimi organizacijami izvedla M. Rihtaršič. Odgovorilo jih je 28 in še ti so večinoma izhajali iz negeodetskih organizacij (Rihtaršič 1990; Rihtaršič in Fras 1991, 117). Podobno je bilo z anketo, ki jo je pripravila GU. Izmed 53 državnih institucij jih je odgovorilo 25 (Stanonik 1995). Iz tega lahko v grobem sklepamo, da so prišli anketni listi v približno polovici primerov v napačne roke, ali pa da anketiranci niso imeli idej o možnostih uporabe

DMR. Po drugi stani je razvidno tudi, da so bile izpeljane kar obsežne akcije, ki so dosegle možne uporabnike DMR, katere pa to očitno ni preveč zanimalo. Rezultate omenjenih dveh anket strnemo v naslednje točke:

Poznavanje in uporaba DMR 100:

- približno 1/5 tistih, ki so odgovorili na anketo, ni vedela, da je bil DMV v Sloveniji sploh izdelan, sicer bi ga uporabljali (Rihtaršič 1990); sklepamo, da bi bil ta delež danes mnogo nižji;
- večina, okoli 9/10 anketiranih, bi DMV ob svojem delu uporabljala zelo pogosto (Rihtaršič 1990, 126; Stanonik 1995);
- glede na delež prispelih odgovorov v obeh anketah sklepamo, da bi DMV ob svojem delu dejansko uporabljalo le okoli 1/2 vseh potencialnih uporabnikov;
- zanimivo je, da je DMR 100 pred desetimi leti uporabljalo le okoli 1/5 vseh, ki so dogovorili na anketo; nekaj manj je uporabljalo z lastnimi programi popravljen DMR 100 (Rihtaršič 1990).

Zahteva po izdelavi boljšega DMR/DMV:

- kar 1/3 jih je izdelala lastne modele in 1/10 kupila tujo programsko opremo (Rihtaršič 1990); pri zadnjem dejstvu sklepamo, da je delež predvsem zaradi dostopnosti komercialnih GIS, ki vključujejo mnogo možnosti izdelav in analiz DMR/DMV, danes še mnogo višji;
- da bi bila izdelava prioritetna naloga geodetske službe, je ocenilo več kot 1/2 anketirancev (Stanonik 1995); že takrat smo torej z boljšimi podatki močno zamujali.

Struktura novega DMR/DMV:

- zbirka podatkov DMR naj bo grafična in atributna; slednje je zahtevalo nekaj več kot 1/3 anketirancev (Stanonik 1995);
- za modeliranje DMR so pomembne raztresene in geodetske točke, plastnice ter značilne točke in črte površja (Stanonik 1995);
- DMR naj bi obsegal osnovno zbirko, ki naj bi jo sestavljale razne točke in črte ter izvedeno zbirko (ali več), zapisano v enostavno strukturo celične mreže; tej zbirki bi bile dodane značilne črte površja in naj bi bila primerna za širši krog uporabnikov (Stanonik 1995);
- anketiranci so zahtevali karseda visoko ločljivost celične mreže; njihove želje so bile odvisne predvsem od namena nalog; gibale so se od ločljivosti 10 m in natančnosti višin od ±1 do ±3 m za lokalne analize površja ali drugih (lokalnih) objektov v povezavi s površjem, do ločljivosti 50 m za področje planiranja ter v nekaterih primerih samo 500 m; pri primerjavi analiz izpred desetih in petih let vidimo, da postajajo uporabniki zahtevnejši; sklepamo lahko, da bi bili danes le redki zadovoljni z ločljivostjo 100 m; večina bi bila zadovoljna z ločljivostjo med 10 in 20 m, kar je že pred petimi leti zahtevala približno polovica resnih potencialnih uporabnikov (Rihtaršič in Fras 1991, 117; Stanonik 1995).

Pomoč pri načrtovanju in sofinanciranju izdelave novega DMR/DMV:

- zelo majhen delež anketirancev bi bil pripravljen pomagati z opremo, znanjem in izkušnjami pri izdelavi DMR/DMV; praktično vsi so si želeli biti čim bolje seznanjeni z dejavnostmi na tem področju (Rihtaršič 1990);

- večina anketirancev ni bila pripravljena soinvestirati projekta izdelave DMR, vendar so ga bili pripravljeni kupiti (Rihtaršič 1990).

Predvidevamo lahko, da bi bili rezultati anket danes precej podobni tistim izpred petih ali desetih let. Vsaj v naslednjih točkah bi bili po našem mnenju rezultati bistveno drugačni kot takrat, in sicer pri poznavanju DMR, ki ga sedaj uporablja mnogo več institucij kot pred leti, zahtevah po natančnosti in ločljivosti ter zahtevah po nujnosti izdelave boljšega DMR. Iz anket se na žalost ni dalo ugotoviti, za kakšne namene so DMR/DMV uporabljali.

Dejansko smo lahko potrdili naraščanje uporabe podatkov modelov reliefa v zadnjih letih. Za analizo uporabe smo imeli na razpolago podatke o povpraševanju po DMR 100 in DMR 25 na GU med leti 1998 in 2000. Na le triletnem vzorcu podatkov je opaziti splošno težnjo povečevanja povpraševanja po podatkih digitalnih modelov višin. Pri tem se je uporaba DMR 100 zmanjševala in DMR 25 povečevala. Izmed vseh uporabnikov jih je bilo približno polovico iz raznih državnih institucij.

3.1.2 Rezultati ekspertiz

Izdelanih je bilo nekaj ekspertiz in napisanih nekaj člankov o možnostih izdelave novega DMR (o tem v razdelku 2.3.3). Tako kot v razdelku 3.1.1 obravnavane ankete, so bile tudi ekspertize napravljene v prvi polovici devetdesetih let. Največ jih je bilo izdelanih okoli leta 1995, ko so vsaj pri zamislih v geodetski stroki zelo resno pristopili k projektu izdelave novega DMR. Pri tem so zelo resno razmišljali o nujnosti izdelave kakovostnega DMR. V nadaljevanju je strnjenih nekaj zaključkov s poudarki na naslednjih predlaganih rešitvah:

Splošno:

- glavni cilji izdelave DMR Slovenije so zadovoljitev potreb po digitalni topografsko-kartografski zbirki podatkov, izdelavi DOF in zadostitvi potreb drugih uporabnikov;
- bistveni zahtevi za izdelavo DMR sta enostavna obdelava podatkov reliefa in enostavno vzdrževanje (Rozman 1995);
- DMR mora čim bolje predstavljati zemeljsko površje (Rozman 1995);
- v vsaki fazi naj bi imeli homogen model reliefa (Fras 1994; Radovan et al. 1994a);
- ločljivost naj bi bila primerljiva modelom v Evropi, Severni Ameriki in na Japonskem; največkrat je omenjena vrednost okoli 25 m (20 do 50 m); končna natančnost DMR bi omogočala kartiranje v merilu 1 : 5000 (Fras 1994; Radovan et al. 1994a).

Zajem virov:

Zajem virov je možen s posrednimi, neposrednimi ali kombiniranimi metodami (Rozman 1995), med katerimi so bili predlagani naslednji viri:

- geodetske točke (Rozman 1995; Radovan et al. 1994a),
- DMR 100 (Radovan et al. 1994a),
- DMR 100 z geodetskimi točkami (Rozman 1995),

- polsamodejno vektorizirane plastnice s skenogramov TTN 5 in 10 (Rozman 1995; Fras 1994; Radovan et al. 1994a),
- polsamodejno vektorizirane plastnice s skenogramov TK 25 (Fras 1994; Radovan et al. 1994a),
- posnetki cikličnega aerosnemanja – CAS (Rozman 1995; Radovan et al. 1994a),
- zajem podatkov iz stereoparov cikličnih stereoposnetkov pri vzporedni izdelavi digitalnega ortofota – DOF 25 in 5 (Rozman 1995; Fras 1994; Radovan et al. 1994a),
- satelitski posnetki, predvsem SPOT (Rozman 1995; Fras 1994; Radovan et al. 1994a).

Predlagane metode izdelave DMR:

- *uporaba raztresenih geodetskih točk*; natančnost virov je zelo visoka; problem je neenakomerna (nehomogena) porazdelitev po prostoru, premajhna povprečna gostota in razpršena organizacija po geodetskih upravah (Rozman 1995; Radovan et al. 1994a);
- *na osnovi obstoječega DMR 100*; interpolacija na ločljivost 50 m z vključitvijo geodetskih točk; izdelava bi bila poceni, vendar se po tej metodi ne da in ni smiselno zgoščevati na ločljivost večjo od 50 m (Rozman 1995);
- *obnova DMR 100*; predvidevali so, da je možnost obnove za sloj nizke natančnosti in zanesljivosti neumestna (Fras 1994); druga varianta je nadaljnje vzdrževanje po varianti prejšnje alineje, vendar bi bila to le opcija ponudbe manj kakovostnega sloja reliefa (Radovan et al. 1994a);
- *kartografski viri*; glede na zahtevano ločljivost bi bile lahko uporabne karte TTN 5 in 10; problemi bi bili zaradi starih virov, različnih materialov, na katerih so shranjeni originali, ter nedoločljive natančnosti in točnosti (Rozman 1995); podobni problemi bi se pojavili tudi pri izdelavi iz kartografskih virov TK 25; dodaten problem TK 25 je precej večja generalizacija kot pri TTN 5 in 10 (Fras 1994; Radovan et al. 1994a);
- *fotogrametrična izdelava* (z analitičnimi fotogrametričnimi instrumenti); z uporabo podatkov CAS je to ena najzanesljivejših metod za izdelavo DMR zelo visoke natančnosti in homogenosti; največkrat je omenjena metoda t. i. kombiniranega vzorčenja; problem naj bi bila oprema in zahteva po precejšnjem številu izšolanega kadra (Rozman 1995); možna je tudi nadgradnja z metodami digitalne fotogrametrije (Radovan et al. 1994a);
- *kot stranski izdelek ortofoto načrtov* (DOF 5); kakovost bi bila podobna fotogrametrični izdelavi; problem te metode so zahtevana visoka finančna sredstva, dolgotrajnost, izšolani kadri (Rozman 1995) ter težavna izdelava na močno razgibanih območjih, v okolici rek ipd. (Fras 1994; Radovan et al. 1994a);
- *iz satelitskih posnetkov s tehnikami daljinskega zaznavanja*; radarske posnetke naj bi se dalo enostavno obdelati, vendar ne bi dali zadovoljive natančnosti (Rozman 1995), podobno je s posnetki SPOT (Fras 1994); navedena je bila možnost izdelave ali nakupa takega DMV v tujini (Rozman 1995; Radovan et al. 1994a);

- *metoda VIP* (angl. very important points); odčitavanje raztresenih točk ki predstavljajo značilne točke ploskev reliefa; sledi organizacija podatkov za izdelavo TIN; uporabljajo se lahko kartografski viri ali posnetki CAS, tehnike zajema pa večinoma niso samodejne; metoda je draga, interpolacija pa je močno odvisna od operaterja (Radovan et al. 1994a).

Kot dodaten pogled na izdelavo DMR v Sloveniji velja omeniti pomembnejše zaključke okrogle mize in predavanja K. Krausa v Ljubljani leta 1995 (glej tudi razdelek 2.3.3). Ti so nekak povzetek vsega kar se je takrat dogajalo v Sloveniji, zato jih navajamo eksplicitno (Radovan 1995):

- obstoječi DMR 100 je bil v letih izdelave izvrsten dosežek, vendar ima preslabo in nehomogeno natančnost (kar je bilo znano že precej prej);
- strokovno najbolj kakovostna izdelava DMR je uporaba analitične fotogrametrije in hibridna struktura modela s stalnim nadzorom kakovosti z vizualizacijo; višinska natančnost tako izdelanega DMR je manjša od 5 m; pri tem takrat v Sloveniji ni bilo na voljo niti enega analitičnega fotogrametričnega instrumenta;
- digitaliziranje plastnic z DTK 25 za celotno Slovenijo je bilo v teku, njihova prostorska natančnost je bila manjša od 15 m; v manjšem obsegu so zajemali tudi plastnice iz TTN 5, vendar naj bi bila njihova kakovost na gozdnih in skalnatih območjih (50 % površine Slovenije) zelo vprašljiva; poleg tega TTN 5 nima ustreznega uradnega certifikata kakovosti, ki bi jamčil kakovost podatkov;
- novemu izdelku je treba zagotoviti natančnost in objektivno numerično kontrolo kakovosti; uporabnik mora poznati pričakovano natančnost, izdelovalec pa jo mora uradno zagotoviti; deduktivna ali opisna ocena ni sprejemljiva;
- pomembni sta zgoščevanje mreže DMR ter interpolacija.

Iz rezultatov ekspertiz in okrogle mize lahko zaključimo, da se je večina (Rozman 1995; Radovan et al. 1994a) nagibala k izdelavi zelo natančnega DMR v enem koraku. Omenjena je tudi varianta postopne izdelave manj kakovostnega DMR in potem kakovostnejšega (Fras 1994) ali obnova starega DMR 100. Končna predloga izdelave DMR sta bila: uporaba fotogrametričnih metod na osnovi aeroposnetkov kot stranskega izdelka DOF ali izdelava iz satelitskih posnetkov SPOT (Stanonik 1995). Po pretehtanju obeh možnosti se je zdel projekt izdelave novega DMR finančno preobsežen.

Omeniti velja, da pred šestimi leti še ni bilo veliko digitaliziranih zbirk podatkov, ki bi vsebovale nadmorske višine. Vse ekspertize so po mojem mnenju zahtevale tudi preveliko natančnost in homogenost. Omenjena je bila tudi regionalna zbirka DMR kot najboljše izhodišče za izdelavo DMR (Fras 1994; ter v Rihtaršič 1992a; 1992b). Poudariti velja tudi, da je treba biti previden pri interpretaciji obravnavanih ekspertiz zaradi njihove relativno visoke starosti, ki je večja od pet let.

3.1.3 Usmeritve in vizije v svetu

Zaradi vse boljših komunikacij in razvoja računalništva se izjemno hitro širi globalizacija pri izmenjavi podatkov, pri izdelavi in analizah modelov reliefa, pri izdelavi dinamičnih in vse bolj realističnih tri- in večrazsežnih prikazih itd. Danes aktualne osnovne vi-

zije in težnje se nanašajo predvsem na naslednje predloge, ki jih je pred nekaj leti podal Weibel (1997), in ki so aktualne še danes:

- nenehno povečevanje zmogljivosti in pocenitve računalnikov omogočata uveljavitev algoritmov za obdelavo velikih zbirk podatkov,
- obeta se dinamično modeliranje DMR,
- sistemi za trirazsežno modeliranje imajo vedno večji vpliv na izdelavo DMR,
- raziskovalni način dela z možnostjo enostavne in učinkovite interaktivnosti procesov omogočajo boljša strojna in programska oprema ter algoritmi,
- opaziti je integracijo med seboj podobnih sistemov za GIS, daljinsko zaznavanje, GPS, statistiko, trirazsežno modeliranje skupaj s sistemi za učinkovito komunikacijo,
- distribuirani sistemi in interoperativnost s pripadajočimi standardi omogočata delitev podatkov in funkcij po računalniških omrežjih.

3.2 SPLOŠNI CILJI

Glede na dejstva iz prejšnjih poglavij lahko postavimo splošne cilje, ki jih moramo zastaviti pred izdelavo DMR Slovenije. Upoštevati je treba tudi najnovejša dejstva, predvsem to, da je danes na razpolago veliko število geodetskih in drugih podatkov. Med možnimi primernimi tehnološkimi rešitvami oz. metodologijami je treba najti take, ki upoštevajo naslednje cilje:

Uporaba obstoječih virov:

- napraviti je treba analizo potencialnih virov za izdelavo DMR;
- poiskati je treba ustanove, ki imajo na razpolago primerne vire za izdelavo DMR Slovenije, in se z njimi dogovoriti o souporabi;
- uporaba in kombiniranje zbirk podatkov več ustanov, ki razpolagajo s podatki nadmorskih višin;
- uporaba črt rečne mreže, območij jezer ter drugih virov brez nadmorskih višin;
- samodejno ustvarjanje manjkajočih podatkov, med njimi značilnih struktur (predvsem točk in črt) iz virov, npr. iz vektoriziranih plastnic.

Primerna kakovost:

- izdelava DMR, ki bo zadoščal večini potreb v Sloveniji;
- pokrivanje DMR celotnega območja Slovenije in njene bližnje okolice; smiselno bi bilo izdelati tudi batimetrični »DMR«, ki bi vseboval globine morja ali celo jezer;
- izdelava DMR največje kakovosti glede na uporabljene vire;
- enotna ločljivost in čim bolj homogena kakovost vsega DMR;
- natančno je treba definirati DMR in DMV (ali vsebuje tudi zgradbe? ipd.) z opredelitvijo primernega področja obravnave;
- kakovost DMR iz obstoječih podatkov mora zadostovati za izdelavo kart merila 1 : 25.000, kasneje pa postopoma do merila 1 : 5000;

- ločljivost izdelka DMR naj bo najmanj 25 m in naj se s kakovostjo virov postopoma veča do 10 ali največ nekaj nad 5 m;
- uporaba najprimernejših metod ter referenčnih območij za natančno analizo kakovosti virov in DMR;
- najti je treba učinkovito globalno in hkrati ne preveč zapleteno metodo za odpravo grobih in sistematskih napak virov ter za izločanje neprimernih skupin virov;
- analiza možnosti uporabe ali zajema podatkov, nujnih za izboljšavo DMR.

Struktura (topologija) DMR:

- topologija naj bo čim bolj enostavna in učinkovita ter povezljiva z GIS; to pomeni prednost pri izdelavi in uporabi;
- poleg DMR mora izdelek vsebovati tudi DMV – z enostavno strukturo v obliki celične mreže. DMR je lahko v odvisnosti od modela zapisan v kateri koli obliki, ki mora biti relativno enostavno obvladljiva, in ki naj bi čim bolje opisovala zemeljsko površje; mednje spadata predvsem hibridna struktura in TIN.

Zbirka digitalnih podatkov reliefa (ZDPR):

- organizacija ZDPR mora omogočati učinkovito upravljanje z viri in izdelki (predvsem DMR) ter nadgradnjo z boljšimi viri;
- izvajati je treba ciklično vzdrževanje ZDPR z novimi, boljšimi viri;
- izbrati ali izdelati je treba primerno programsko opremo za ZDPR.

Gospodarnost:

- uravnoteženo mora biti razmerje med zahtevami uporabnikov in možnostmi izdelave;
- tržni pristop naj bo upoštevan pri izdelavi DMR in izdelkov ter njihovi distribuciji; to pomeni tudi, da so izdelki potem, ko so plačani, dostopni za uporabnike z minimalnim plačilom;
- upoštevati je treba, da z vse večjo ponudbo cena na enoto podatka pada in s tem mora biti tudi cena izdelave DMR nižja; z internetom se veča informiranost in dostopnost podatkov ter s tem povpraševanje;
- možnost sovlaganj potencialnih uporabnikov novega DMR; med njimi so možni naslednji: GU in druga geodetska podjetja, planerska podjetja, upravljalci cest in železnic, podjetja, ki se ukvarjajo s telekomunikacijami, vojska, kmetijci, gozdarji, krajinarji, geologi ipd. (glej tudi razdelek 2.7.1); možnost pridobitve mednarodne podpore itd.;
- gospodarnost se nanaša tudi na visoko hitrost izdelave pri uporabi obstoječih virov.

Obdelava (interpolacija):

- uporabiti ali najti je treba najprimernejše metode interpolacije, ki upoštevajo parametre kakovosti in elemente ploskve reliefa;
- pomembna je robustnost in enostavnost obdelave kot celote;
- odločiti se je treba za izdelavo ali izbiro primerne programske opreme za interpolacijo DMR;

- zelo pomembna je določitev primernih parametrov za interpolacijo.

Uporaba DMR za razne aplikacije:

- možnost kontrole in izboljšanja geodetskih zbirk podatkov, kot so geodetske točke, Centralna baza podatkov o stavbah (CBPS), Generalizirana kartografska baza reliefa in hidrografije (GKB-relief, GKB-hidrografija) in Topografska baza večje natančnosti (TBVN; glej tudi razdelek 5.5.3);
- zelo pomembni kartografski aplikaciji, ki ju mora omogočati novi DMR, sta pridobivanje sloja senc in plastnic za ažuriranje kart;
- največja prednost novega DMR mora biti možnost uporabe za številne aplikacije v GIS, zanimive najširšemu krogu; med aplikacijami so potencialno najzanimivejši izvedeni sloji površja, kot so nakloni ali ekspozicije;

Zadovoljitev potencialnih uporabnikov:

- najpomembnejši uporabniki naj bi bili predvsem kartografi, ki bi s kakovostnim DMR pridobili zbirke podatkov za samodejno izdelavo kart, najprej do merila 1 : 25.000, z boljšimi podatki, ki se obetajo kmalu pa do merila 1 : 5000;
- predvidevamo, da bodo tudi drugi potencialni uporabniki bolj posegali po novem DMR, saj bodo z njim dobili podatke, kakršne si mnogi želijo (glej tudi razdelek 2.7).

Izmed opisanih splošnih ciljev izdelave želimo kot nujne izpostaviti naslednje:

- gospodarnost in enostavnost,
- ciklična obnova,
- visoka kakovost.

3.3 MOŽNE METODOLOGIJE IZDELAVE DMR

Pri upoštevanju opisanega lahko podrobno navedemo možnosti izdelave DMR s poudarkom na razmerah v Sloveniji. Vse metode slonijo na različnih obstoječih virih. Nekaj izmed njih je splošno znanih, do kompleksnejših metod pa smo prišli intuitivno in deduktivno.

Privzem najboljšega DMV (*DMR*):

- takega, ki je v določenem trenutku najboljši za vso v Slovenijo.

Mozaičenje slojev (spajanje slojev po načelu uporabe najboljših virov glede na ocenjeno kakovost z naslednjimi možnostmi):

- izbira celotnih lokalnih slojev DMR/DMV (glede na najboljši vir v celoti),
- izbira delov slojev po vnaprej določenih območjih kvadrantov (blokov),
- izbira delov slojev po območjih posameznih mrežnih celic (določenih glede na ločljivost izdelka).

»Vzporedno« prekrivanje virov (po načelu uporabe vseh virov, ki doprinesejo h kakovosti DMR):

- *metoda hkratne interpolacije* virov pri upoštevanju uteži posameznih točk in črt,
- *metoda utežnega seštevanja* virov pri uporabi virov, ki so zapisani kot ploskve ali pa se jih da interpolirati v ploskve ter jih nato utežno sešteti.

Kombinacija metod mozaičenja in prekrivanja slojev:

- vse zvezne sloje združimo z mozaičenjem v enoten osnovni sloj, dodatne, sekundarne vire pa upoštevamo z »vzporednim« prekrivanjem po eni izmed obeh naštetih metod.

Pri prvih dveh možnostih poteka izdelava modela brez interpolacije. Zadnji dve možnosti naj bi bili najdražji, najboljši in najbolj zapleteni. Prva možnost izmed štirih je najcenejša, najenostavnejša in da najslabše rezultate. Po tej možnosti bi bil privzet v danem trenutku najboljši DMR na območju Slovenije, ki je trenutno InSAR DMV 25. To bi najverjetneje pomenilo tudi privzem DMR 25 kot najboljšega po njegovi dokončni izdelavi. S takim načinom izdelave lahko le čakamo razvoj dogodkov in primerno ukrepamo.

Po drugi možnosti uporabimo vse trenutno najboljše možne vire DMR/DMV na območju Slovenije in jih mozaičimo v celoto. Pred tem moramo temeljito ovrednotiti kakovost virov s testiranjem. Najenostavnejša je prva izmed treh navedenih variant. V tem primeru zadostuje test posameznih slojev kot celot ter nato spajanje v enoten sloj s prekrivanjem boljših virov prek slabših (*TerrainBase* 2000; Hastings in Dunbar 1998; 1999). Druga varianta je, da razdelimo območje Slovenije in bližnje okolice na kvadrante oz. bloke (npr. 1 krat 1 km). Na podobna območja je bil organiziran zajem DMR 100. Po posameznih kvadrantih izberemo najboljše možne podatke virov ter jih sestavimo v DMR/DMV. Tak model bi bil nekoliko boljši kot pred tem omenjeni, vendar bolj nehomogen. Tretja varianta te možnosti je podobna kot druga, le da so posamezni kvadranti velikosti mrežnih celic končnega modela. V tem primeru dobimo najboljši DMV izmed treh variant, vendar najbolj nehomogen. Pri vseh variantah dobimo boljše rezultate, če robove območij deloma prekrijemo (razdelek 4.4.7).

Po tretji možnosti spajamo posamezne vire z interpolacijo predvsem pri upoštevanju uteži v odvisnosti od kakovosti virov. Po prvi varianti, 'metodi hkratne interpolacije' interpoliramo vse vire hkrati in pri tem upoštevajo uteži posameznih skupin podatkov. Podobno metodo za izdelavo DMR je uporabljal Ecker (1999). Nekatere elemente te metode pa so uporabili tudi za izdelavo DMR dela Antarktike (Felus in Csatho 2000). Druga varianta, 'metoda utežnega seštevanja', temelji na utežnem seštevanju nekaterih virov zapisanih v obliko ploskve po metodah algebre karte (Tomlin 1990). Pri tem se da s povečanjem vplivnega območja posameznih podatkov upoštevati tudi točkovne vire. Pri obeh variantah dobimo zelo dobre rezultate le v povezavi s primerno predobdelavo. V nasprotnem primeru so rezultati le nekoliko boljši kot pri prvih treh metodah. Zadnja, četrta navedena možnost je optimizacija tretje možnosti. Združuje mozaičenje za izdelavo osnovnega sloja ter prekrivanje sekundarnih virov. Tretja oz. četrta možnost izdelave DMR sta podrobneje analizirani v razdelku 5.4.

4 ELEMENTI MODELIRANJA DMR

Zapisi reliefa težijo k čim boljšim prikazom dejanskega, realnega površja, k čemer lahko pripomore primerno ustvarjanje oz. izdelava modela reliefa. Od prazgodovine do sredine prejšnjega stoletja so prevladovale tehnike zapisa modela reliefa na podlagi vizualizacij. Sprva so poleg drugih pripomočkov uporabljali slike, ki so čedalje bolj slonele na terenskih meritvah in se razvile v zemljevide. Taki načini zapisa površja spadajo med analogne (več v razdelku 2.1), ki so nerodni in neprimerni za učinkovite analitične obdelave.

Prav zapis ploskve reliefa v digitalno obliko omogoča analitične obdelave. Danes pomeni modeliranje reliefa ustvarjanje in hranjenje kakovostnih digitalnih zbirk podatkov v primerno strukturo (največkrat v GIS) s podporo različnih tehnik zajema virov. Taki digitalni zapisi površja omogočajo povratno vizualizacijo ali pretvorbo v analogne prikaze, med katerimi so tudi tiskane karte.

Za uporabo pri izdelavi DMR definiramo model kot poenostavljeno predstavitev dela ali celotnega zapletenega sistema. Pri tem gre za preslikavo fizičnega okolja v model s postopki modeliranja. V odvisnosti od namena modela ločimo opisne, pojasnjevalne, napovedovalne (prediktivne) in usmerjevalne (normativne) modele (Chou 1997; Podobnikar 1998a), pri čemer spada DMR na splošno med opisne.

Avtorji člankov interpretirajo postopke modeliranja DMR na različne načine. Vsem je skupen zajem podatkov in obdelava oz. interpolacija. Vsi drugi postopki modeliranja so implicitno podani po posameznih fazah, ki jih je navadno tri do pet (glej npr. v Kvamme et al. 1997; Mikhail 1978; Weibel in Heller 1991; *SPRING* 1996; Weibel 1997; Martinoni in Bernhard 1998; Burrough in McDonnell 1998; Tempfli 1999a). Svojevrsten in dodelan pristop ponujajo na Tehniški univerzi na Dunaju (Dorffner et al. 1999). Zaradi različnih pristopov modeliranja sem se odločil predstaviti modeliranje DMR prek obširne definicije. Prek posameznih sestavin definicije DMR so v naslednjih razdelkih podrobno opisni postopki modeliranja DMR.

4.1 DEFINIRANJE SESTAVIN DMR

Definirati *digitalni model reliefa*[4] (DMR), z ustreznico v angleščini – digital terrain[5] model (DTM), ni lahka naloga. V literaturi je moč najti mnogo definicij, od enostavnih do zapletenih in mnogokrat nasprotujočih si. Vzrok temu so različne tehnike modeliranja, prikaza in zapisa reliefa ter razna področja in nameni uporabe. Definicije se poleg tega lahko hitro prilagajajo razvoju tehnologije (glej npr. razvoj definicije za GIS v Gould in Herring 2001). Zemeljsko površje lahko npr. definiramo kot zvezen trirazsežen pojav. Teoretično ga lahko povsem definiramo in opišemo z neskončnim številom diskretnih vrednosti (meritev). Tak pristop zbiranja in zapisa podatkov seveda ni možen (Ware et al. 1996). Zato za digitalno predstavitev zemeljskega površja uporabimo matematične in statistične metode, ki temeljijo na končni množici terenskih meritev. V disertaciji se naslanjamo na eno izmed novejših obširnih definicij.

4.1.1 Definicija

Digitalni model reliefa (DMR) razumemo kot *digitalni opis oblikovanosti zemeljskega površja*. Ne vsebuje le *prikaza* površja samega, ampak tudi njegov *opis* z nakloni, ekspozicijo ter plastnicami, padnicami, točkami vrhov ter z drugimi značilnimi črtami in točkami. DMR je sicer *fraktalna* ploskev (Wood 1996; 1999), vendar jo obravnavamo kot *zvezen* numerični prikaz topografske ploskve kot eksplicitno (neposredno dostopno) ali implicitno informacijo (prikrito, ki je dostopna z analizami) o obravnavanem zemeljskem površju. Sam pojem relief je opredeljen kot oblikovanost zemeljskega površja, kar se lepo vključuje v definicijo DMR (*SSKJ* 1970–1991). Sestavine, ki jih vsebuje celovita definicija DMR, so naslednje (Weibel 1997; Martinoni in Bernhard 1998; Conrad 1998; Schneider 1998; Tempfli 1999a):

- *zapis podatkov* (objekti – elementi – oblike podatkov),
- *informacije o strukturi*, podane eksplicitno ali implicitno,
- *zvezne funkcije*, ki omogočajo modeliranje ploskve zemeljskega površja,
- *informacije o kakovosti*,
- *metode za analizo implicitnih informacij* reliefa.

Prvi dve sestavini, zapis podatkov in informacije o strukturi, opisujeta t. i. *skelet modela*. *Zapis podatkov* eksplicitno opisuje višine točk, črt ali območij, podanih v npr. ravninskih pravokotnih koordinatah (x, y, H). Razumemo jih kot podpora modelu. Podatki so pogosto zapisani v obliki celične ali nepravilne trikotniške mreže (TIN). Na zapis podatkov so vezane *informacije o strukturi*, ki označujejo poseben, reliefni pomen zapisa podatkov, relacije med zapisi podatkov in pomen relacij. Pri tem gre predvsem za topološke in posebne relacije reliefa kot so geomorfološke, hidrološke in izpeljane. Relief zvezno aproksimiramo (interpoliramo) z množico *zveznih funkcij*, v odvisnosti od modeliranega območja.

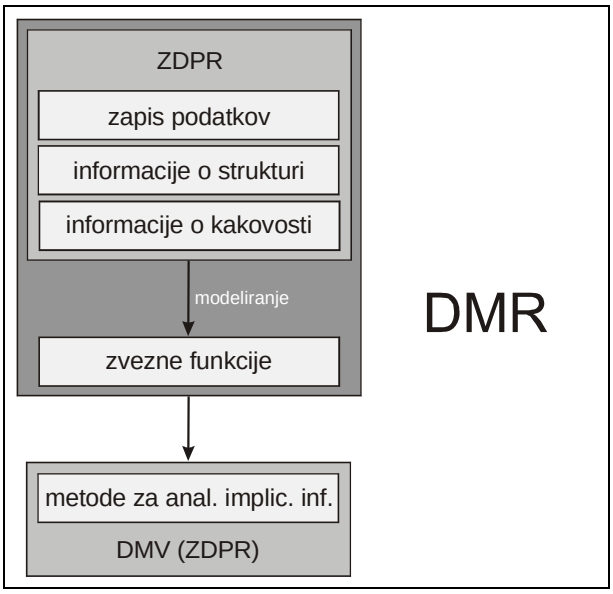
[4] Izhaja iz francoskega samostalnika relief, ki je prvotno pomenil 'kar je dvignjeno'. Izraz je izpeljan iz francoskega glagola relevar ali latinskega relevare, ki pomenita 'dvigniti'. Zastareli slovenski ustreznici za relief sta pridvig in nadvig (Perko 2000, 11).

[5] Angleški pojem terrain izvira iz francoskega izraza terrain ali latinskega terrenum s pomenom 'zemljišče, ozemlje', ki sta izpeljana iz latinskega terra – 'zemlja' (Perko 2000, 9).

Za verodostojen DMR potrebujemo tudi primerno *semantično* informacijo o razumevanju strukture površja in primerno klasifikacijo obravnavanega območja kot osnovo za četrto sestavino definicije DMR, *informacije o kakovosti*. Semantične informacije so vključene v modeliranje DMR in so podpora izvajanju abstrakcije stvarnega sveta.

Glede na definicijo lahko DMR nudi implicitne ali eksplicitne informacije o reliefu. Implicitne informacije niso neposredno dostopne, ampak so logično usklajeno vključene v model. DMR torej vsebuje posebne *metode za analizo implicitnih informacij* reliefa. Če vključimo DMR v GIS, potem izvajamo take metode z orodji prostorskih analiz. Če naredimo definicijo DMR še bolj »elastično«, lahko k njej štejemo tudi *opisne podatke* (Weibel 1997).

Objekte podatkov, informacije o strukturi in o kakovosti podatkov lahko smiselno vključimo v zbirko, ki upravlja z njimi. Imenujemo jo *zbirka digitalnih podatkov reliefa* – ZDPR (več v razdelku 5.5.4). Modeliranje reliefa z zveznimi funkcijami uporablja informacije iz ZDPR. Metode za analizo implicitnih informacij reliefa temeljijo na DMR, aproksimiranemu z zveznimi funkcijami ter so pomembne za pridobitev dodatnih zapisov podatkov in informacij o kakovosti DMR. Pomembne so tudi za druge analize DMR za druge namene. Shemo opisane definicije DMR prikazuje slika 12.



Slika 12: Shema definicije DMR.

4.1.2 Primerjalna definicija DMV glede na DMR

Pogosto uporabljamo za opis zemeljskega površja *digitalni model višin* (DMV[6], angl. digital elevation model – DEM), kot enostavnejši približek zapisa DMR (Doyle 1978; Skidmore 1997; Mark 1999; Drobne in Podobnikar 1999). DMV je največkrat zapisan kot dvorazsežna kvadratasta celična mreža z višinami kot atributi. Takemu zapisu lahko

[6] Kratica DEM (digital elevation /height/ model; slov. DMV) izhaja iz ZDA in so jo uvedli v USGS (U. S. Geological Survey). Omenjena ustanova razpolaga z rastrskimi zapisi (celična mreža) nadmorskih višin za območje ZDA in drugih delov sveta. Angleški izraz elevation pomeni 'dviganje, višina' in izvira iz latinskega 'elevatio'.

pravimo matrični ali pa kar *rastrski sloj reliefa* in je primeren za uporabo v orodjih GIS. Če uporabimo sestavine definicije DMR, potem lahko DMV opišemo na naslednji način:

- *zapis podatkov* je enoličen (vsebuje le točke pri rastrskem zapisu ali enostavnem zapisu v TIN),
- *informacije o strukturi* so topološko enostavne (omejene na enostavne topološke relacije celične mreže ali enostavnega TIN),
- diskusije vredna je aproksimacija zapisa z *zveznimi funkcijami*, saj gre v primeru DMV lahko za zapis in prikaz diskretnih vrednosti nadmorskih višin (*SPRING* 1996) ali pa za zvezen prikaz ploskve površja (Wood 1996), odvisno od interpretacije,
- osnovne *informacije o kakovosti* so prav tako pomembne kot pri DMR, vendar (zaradi enostavnosti) niso vključene v definicijo DMV,
- uporabljamo lahko npr. *metode za analizo implicitnih informacij*, ki temeljijo na celični mreži, vendar tako pridobljene informacije niso povezane z definicijo DMV.

Pri definiciji DMV je poudarek predvsem na točkovnih zapisih podatkov, definiranih kot del DMR (Conrad 1998). K definiciji DMV lahko kot posledica navedb pogojno štejemo tudi enostaven TIN (nepravilna trikotniška mreža), ustvarjen iz objektov (raztresenih) točk. Jasno mejo med DMV in DMR je torej zelo težko postaviti, saj ju posamezni avtorji različno interpretirajo. Največ se jih omejuje le na rastrsko podan DMV. DMV je torej le eden izmed izvedenih slojev DMR, podobno kot npr. sloj naklonov površja (Goodchild in Kemp 1990; Martinoni in Bernhard 1998).

4.1.3 Analiza definicij

Poleg sestavin definicije DMR opredeljujejo nekateri viri še digitalno predstavitev reliefa, ki vsebuje tudi podatke o naravnih značilnostih površja, t. i. naravno pokrajino, kamor spadajo npr. podatki o geomorfoloških značilnostih in uporabi zemljišč. Zraven spadajo tudi metode za pridobivanje omenjenih informacij o reliefu. Imenujemo ga *digitalni model terena* – DMT (Kvamme et al. 1997, 108). V Slovarju slovenskega knjižnega jezika (SSKJ) je pojem teren opisan zelo splošno kot ozemlje ali zemljišče z značilnostmi, kot so oblikovanost, (npr. hribovitost ali nagnjenost), sestava (npr. ilovnata ali kamnita) ter z drugimi lastnostmi (npr. spolzkost ali poraslost). Pri DMT gre torej za kakršne koli sloje, ki jih lahko uporabljamo pri modeliranju naravne pokrajine v GIS. Redko uporabljani pojem je *digitalni model pokrajine*, ki vsebuje poleg naravnih tudi družbene značilnosti pokrajine (Perko 2000).

Glede na postavljene definicije se da podrobneje razpravljati tudi o smislu in pravilnosti uporabljenega izrazja za digitalni opis zemeljskega površja. Poglejmo si najprej predpono 'digitalni'[7], ki nastopa v vseh primerih. Omenjeni pojem opisuje podatke, ki so shranjeni v niz diskretnih simbolov (Howe 1999). V našem primeru gre tehnično za zapis, primeren za obdelavo, upravljanje in prikaz z računalniki. Ker so v današnjih časih digitalni zapisi za razliko od analognih mnogo bolj vsakdanji, bi bilo treba razmisliti o smiselnosti uporabe pridevnika 'digitalni'. V primeru uporabe skrajšanega pojma 'model reliefa' bi bili torej praktično prepričani, da gre za digitalnega. To pravilo občasno upo-

[7] Iz angleške besede digit – 'cifra, prst', iz latinskega digitus – 'prst'.

rabljamo tudi v disertaciji. Za razliko od omenjenih bi lahko nedigitalne modele reliefa poimenovali kot 'analogne modele reliefa'.

V definiranih izrazih se vedno ponavlja predpona 'model'[8]. S tem mislimo na ponazoritev nekega predmeta (objekta v naravi). V SSKJ piše, da je model predmet, izdelan za ponazoritev, prikaz načrtovanega ali obstoječega predmeta. Dodajmo, da se lahko npr. model poleg predmetov nanaša tudi na medij, kot nadomestilo za predmet. V primeru DMR gre za ponazoritev – modeliranje ploskve reliefa zemeljskega površja. Glede na opisano je torej 'digitalni model' računalniško zapisana upodobitev (ponazoritev). Izraz (digitalni) 'model' reliefa je torej glede na to, kaj dejansko opisuje, smiseln. Izraz DMV (digitalni model višin) pa povzroča zadrego. Čeprav gre večinoma pri podatkih, uporabljenih v GIS za predstavitev objektov, pa v primeru zapisa posameznih točk nadmorskih višin v rastrski sloj, ne gre za to (Heuvelink 1998). Ali so torej nadmorske višine (atributi posameznih točk) objekti? Po mnenju Krausa (1999) niso. Izraz DMV torej ni smiseln. Glede na to, da se pojem DMV največkrat tiče rastrskega zapisa podatkov višin, si lahko pri verodostojnem poimenovanju pomagamo z objekti v GIS. V GIS lahko izvajamo operacije, pri katerih uporabljamo rastrske sloje, med katerimi je pogosto tudi DMV. V tem primeru lahko 'DMV' ali 'rastrski sloj DMV' enostavno imenujemo kar *rastrski sloj višin*.

Na kratko obravnavajmo še nekaj oblik zapisov površja. Najbolj splošen izraz za opis ploskve (reliefa) brez dodatnih značilnosti je digitalni model ploskve (angl. digital surface model – DSM), ki izhaja matematike. V odvisnosti od velikosti območja lahko ločimo lokalni (krajevni) ali regionalni DMR, glede na način zajemanja podatkov pa na osnovni ali izvedeni (Rihtaršič in Fras 1991, 6). Če obravnavamo globine jezer, rek in morij, imamo opravka z batimetričnim »DMR«. Omeniti velja tudi digitalni model objektov – DMO (angl. digital object model). Pri tem gre za podatke o kvantitativnih, fizičnih, bioloških, socioloških in drugih lastnostih (topografskih) objektov. DMO se uporablja za modeliranje stavb, oblikovanje avtomobilov, preučevanje oblik teles, okostij v kirurgiji (Rihtaršič 1990; Rihtaršič in Fras 1991) ipd. Pri DMO gre torej za zelo širok pojem, podoben omenjenima DMR in DMT. DMO je lahko le pomanjšani DMR in je najpogosteje povezan z bližnjeslikovno fotogrametrijo, torej ne z geografskimi koordinatami. Novejša in trenutno »moderna« veja modelov, sorodnih z DMR, je izdelava 3D modelov mest. Pri tem gre za kombinacijo GIS in fotogrametrije, pogosto z uporabo laserske altimetrije (skeniranja). Poleg omenjenih obstaja še cela vrsta posebnih opisov in modelov (zemeljskega) površja, ki imajo posebna poimenovanja in so namenjeni ozkim področjem.

4.1.4 Povzetek definicij

Če ostanemo pri uveljavljenih izrazih, potem lahko poenostavljeno hierarhično opišemo naslednje osnovne digitalne zapise zemeljskega površja, od katerih se v disertaciji naslanjamo le na DMV in na bolj splošni DMR:

- *digitalni model višin* /DMV/ ali *rastrski sloj višin* – vsebuje samo višinske točke, ki so najpogosteje zapisane v obliki pravilnih kvadratnih celic in pogojno tvorijo ploskev zemeljskega površja (angl. digital elevation model /DEM/, nem. Digitales Höhenmodell /DHM/);

[8] Iz latinskega izraza modulus – 'mera'.

- *digitalni model reliefa* /DMR/ – poleg višinskih točk vsebuje tudi druge objekte, ki opisujejo ploskev reliefa (vsebinsko se ujema z angl. pojmom digital terrain model /DTM/ in nem. Digitales Geländemodell /DGM/, v nekaterih primerih uporabe pa tudi z angl. pojmom digital relief model /DRM/ in nem. Digitales Reliefmodell /DRM/);
- *digitalni model terena* /DMT/ – poleg ploskve reliefa vsebuje tudi podatke o značilnostih naravne pokrajine;
- *digitalni model pokrajine* – poleg ploskve reliefa vsebuje tudi podatke o naravnih in družbenih značilnostih pokrajine (angl. digital landscape model, nem. Digitales Landschaftmodell).

Digitalni model pokrajine vsebuje DMT, ta vsebuje DMR, in slednji DMV. Literatura najpogosteje loči le med DMV in DMR kot osnovnima oblikama opisa (in zapisa) oblikovanosti zemeljskega površja. Zaradi poenostavljanja ali nepoznavanja tematike se mnogo virov omejuje le na enega izmed izrazov DMV ali DMR in pri tem misli predvsem na prej definirani DMR (Mark 1999; Kraus 1999). Za izraza DMV in DMR se je med strokovnjaki in uporabniki udomačila poenostavljena kratica – DMR (digitalni model reliefa), v angleščini pa DEM (digitalni model višin). Glede na to, da definicija DMR v celoti vsebuje definicijo DMV in zaradi zgodovinskega razvoja pojmov v Sloveniji, je raba izraza DMR kljub manjši pomenski nekorektnosti največkrat upravičena.

4.2 Zapis podatkov DMR

Zapis podatkov opisuje višine točk in drugih objektov podatkov DMR, ki po obravnavani definiciji podpirajo model (glej tudi razdelke 4.1.1, 4.4.8 in 4.5.1). Vsi podatki morajo biti zapisani v državnem koordinatnem sistemu (DKS) z ortometričnimi (nadmorskimi) višinami *H* in v primerni digitalni obliki, ki jo lahko vključimo v izbrano strukturo. V naslednjih razdelkih obravnavamo zajem podatkov ter problem ločljivosti in merila.

4.2.1 Zajem

Za zajem podatkov pri izdelavi DMR je razvitih veliko metod. Tradicionalno se pri zajemu navaja metode, s katerimi dobimo podatke, ki jih uporabimo le za izdelavo DMR. Te metode vključujejo tudi vire iz kartografskega gradiva velikih in srednjih meril. V novejšem času se obravnava tudi vire za oba namena hkrati – za kartografijo in DMR. Pri izdelavi DMR iz obstoječih podatkov različne kakovosti pa moramo poleg omenjenih poznati tudi metode za zajem podatkov, ki so bili primarno zajeti za popolnoma druge namene. Primerno pripravljene podatke z ovrednoteno kakovostjo vključimo v *zbirko digitalnih podatkov reliefa* – ZDPR (razdelek 5.5.4). Zajem podatkov za izdelavo DMR razvrstimo v naslednje skupine virov (Goodchild in Kemp 1990, 38–3; Weibel in Heller 1991; Theobald 1992; Rihtaršič 1992a; Abdul-Rahman 1994; 1995; Stanonik 1995; Rozman 1995; *SPRING* 1996; Weibel 1997; Burrough in McDonnell 1998; Tempfli 1999a; Gong et al. 2000; Longley et al. 2001, 206; razdelek 3.1.2):

Viri, primarno zajeti za izdelavo DMR (ali za kartografske namene):

- *karte*: razne metode digitalizacije kartografskih podatkov, ki opisujejo relief, med njimi tudi tistih brez nadmorskih višin:
  - skeniranje in nato zaslonska vektorizacija skenogramov (največkrat pri urejanju podatkov),
  - skeniranje in nato točkovna ali linijska polsamodejna vektorizacija,
  - točkovna ali linijska ročna digitalizacija v vektorsko strukturo z digitalnikom,
  - točkovna ročna digitalizacija z ročno interpolacijo v vektorsko strukturo (kot npr. slovenski DMR 100);
- *geodetske meritve*: različne terenske meritve kot so tahimetrija, niveliranje ali metode GPS meritev;
- *fotogrametrija*: ročni, polsamodejni, samodejni postopki:
  - obdelava stereopara z analitičnimi fotogrametričnimi instrumenti – profiliranje reliefa, sledenje plastnicam, zajem mreže točk (rastra) ali čitanje s selektivnim vzorčenjem drugih črt in točk;
  - kot stranski izdelek ortofota – metoda 'image matching' ali 'edge matching' (kot npr. DMR 25); predvsem zaradi sistematskih napak je natančnost slabša kot pri analitičnih instrumentih (Gong et al. 2000);
  - lasersko skeniranje (profiliranje), največkrat z letal; visoka vertikalna natančnost – okoli 0,2 m; problem je visoka cena in neprimernost za gozdnata območja;
- *daljinsko zaznavanje*: postopki, ki temeljijo na obdelavi satelitskih posnetkov; do nedavnega premalo natančni postopki s premajhno ločljivostjo posnetkov so v zadnjem času postali dovolj natančni in predvsem ekonomični za kartiranje v merilih do 1 : 25.000:
  - SPOT – s stereopari; natančnost do 8 m pri solidnih pogojih (kot npr. 'SPOT DMV 20'),
  - radarski posnetki – z radarsko interferometrijo z vertikalno natančnostjo okoli 5 m (kot npr. InSAR 25) ali s pomočjo stereoparov s slabšo natančnostjo.

Viri, primarno zajeti za popolnoma druge namene (dodatno obdelani so lahko uporabni za izdelavo DMR):

- geodetske točke, CBPS in druge točke,
- izmere, napravljene za gradnjo cest in drugih (antropogenih) objektov,
- drugi večinoma lokalni podatki in izmere.

V preglednici 1 je prikazan pregled osnovnih tehnik zajema podatkov iz različnih virov za izdelavo DMR. Primerjani so opisni parametri avtomatizacije, natančnosti oz. točnosti, zahtev po znanju in številu ljudi za določeno tehniko zajema, ceni ter uporabnosti osnovnih, primerjalnih ali dopolnilnih podatkov. Med 'druge podatke' spadajo podatki virov, ki so bili primarno zajeti za popolnoma druge namene.

Tehnika zajema	Avtomati-zacija	Natančnost/ točnost	Zahteva po: znanje/ljudje	Cena	Uporabnost za DMR
Karte (zaslonska vektorizacija)	nizka	nizka	nizka/ visoka	srednja	osnovni podatek
Karte (polsamodejna vektorizacija)	visoka	nizka	nizka/ nizka	nizka	osnovni podatek
Karte (ročna digitalizacija)	nizka	nizka	nizka/ visoka	srednja	osnovni podatek
Karte (ročna digitalizacija z ročno interpol.)	zelo nizka	nizka	srednja/ visoka	srednja	osnovni podatek
Geodetske meritve	nizka	zelo visoka	srednja/ visoka	visoka	dopolnilni podatek
Fotogrametrija (stereopari – več metod)	nizka	visoka	srednja/ srednja	visoka	dopolnilni podatek
Fotogrametrija ('image matching')	visoka	srednja do nizka	visoka/ srednja	nizka	osnovni podatek
Fotogrametrija (*lasersko skeniranje)*	visoka	visoka do sre-dnja	visoka/ nizka	srednja (za večja ob-močja)	osnovni podatek
Daljinsko zaznavanje	visoka	srednja	visoka/ nizka	nizka	osnovni primerjalni podatek
Drugi podatki	različna	visoka	različna/ različna	nizka (ker so že na voljo)	dopolnilni podatek

Preglednica 1: Pregled tehnik zajema podatkov.

4.2.2 Ločljivost in merilo

Ločljivost in merilo predstavljata pomembno lastnost izdelka. Zemeljsko površje je dejansko fraktalno strukturirana ploskev (Wood 1999), katere približek za področje obravnave so zvezne, odsekoma gladke ploskve. Če so glavni viri za izdelavo DMR kartografski, potem lahko glede na njihovo merilo izberemo primerno ločljivost. Po drugi strani moramo pri interpolaciji/obdelavi natančno vedeti, za kakšne namene potrebujemo DMR, in se v odvisnosti od tega odločiti za primerno gostoto TIN, ločljivost celične mreže ali gostoto hibridne strukture. V nadaljevanju je analizirana predvsem določitev gostote objektov, ki predstavljajo ploskev reliefa glede na gostoto virov ter njihova kakovost (glej tudi razdelek 4.4.3). Glede na podatke različnih kakovosti, ki jih želimo dejansko uporabiti, ter v odvisnosti od osnovne zahteve končnega izdelka (razdelek 3.2), postavimo kot izhodišče kartografsko merilo 1 : 25.000 z možnostmi izboljšave do merila 1 : 5000 ter želeno ločljivost DMR 20 m.

Ločljivost podatka je definirana kot velikost detajla, ki ga lahko še razločimo (Veregin in Hargitai 1995, 180) ali kot merilo, ki podaja razmerje med velikostjo mrežne celice v zbirki podatkov in velikostjo v naravi (Kvamme et al. 1997, 470). Pri izbranem merilu in ločljivosti se ne moremo izogniti generalizaciji. Problem generalizacije (kartograf-

skih) podatkov ni in verjetno nikoli ne bo zadovoljivo rešen s samodejnimi metodami. Pri tem pa je samodejna generalizacija DMR lahko nekoliko boljša in enostavneje izvedljiva (Weibel 1989).

Pri podatkih kartografskih virov moramo upoštevati osnovna načela generalizacije kartografskih podatkov, in sicer da je grafična natančnost/točnost odvisna od geometrijske za večja merila ter geomorfološke za manjša merila (Peterca et al. 1974). V našem primeru je med potencialnimi podatki precej takih, ki bi jih lahko šteli med »srednja« merila, saj so npr. plastnice na DTK 25 in celo na TTN 5 prej geomorfološko pravilne 'oblikovnice' kot pa geometrijsko pravilne 'plastnice'.

Grafična horizontalna natančnost karte je teoretično glede na zmožnosti zaznavanja človeškega očesa ±0,2 mm. Tanke črte so debele do 0,5 mm, medtem ko je pričakovana točnost okoli ±1 mm (Robinson et al. 1995, 247; Li 1998). Če naštete vrednosti preračunamo v merilo karte, potem ugotovimo, da lahko v merilu 1 : 25.000 (1 : 5000) še ločimo razdalje, večje od 5 m (1 m), plastnice pa bi bile točne na ±25 m (±5 m). Omenjene vrednosti so predstavljene kot trikratna vrednost srednjega kvadratnega odklona *m*, torej statistična meja med naključnimi in grobimi napakami. Podrobnejša analiza natančnosti/točnosti kartografskega gradiva je v dodatku C.11. Glede na naštete podatke lahko določimo osnovno ločljivost celične mreže DMR na 25 m za merilo 1 : 25.000 in na 5 m za merilo 1 : 5000. Navedeni ločljivosti bi bili primerni za zadovoljivo rekonstrukcijo reliefa na karti, torej tudi za morebitno izdelavo plastnic ter z dodatnim prevzorčenjem modela tudi za samodejno senčenje.

Za prepričljivost modela reliefa je treba najti kompromis med ločljivostjo strukture, ki ga predstavlja, in gostoto virov. Pri tem je treba upoštevati praktično omejitev, da je pri večji gostoti (celične mreže) redundanca zapisa večja (Ware et al. 1996; Hutchinson in Gallant 1998). Poleg omenjenega kompromisa je treba upoštevati tudi natančnost virov in razgibanost površja. Za obrazložitev občutljivosti problema navajamo naslednja primera:

- na razpolago so podatki z zelo visoko gostoto (1 m) in hkrati z zelo slabo horizontalno natančnostjo (±30 m); v tem primeru že celična mreža z relativno slabo ločljivostjo (20 m) zelo dobro predstavlja omenjene podatke;
- v drugem primeru imamo podatke z zelo nizko gostoto (100 m) in visoko horizontalno natančnostjo (±1 m); v takšnem primeru dobimo soliden DMR s celično mrežo relativno majhne ločljivosti (50 m).

Med mnogimi so osnovni parametri za določitev ločljivosti celične mreže naslednji:

- merilo ter natančnost virov in DMR,
- gostota virov in
- razgibanost površja.

Problem določitve primerne gostote točk virov za obdelavo DMR lahko rešimo z Nyquistovim teoremom vzorčenja. Teorem, izpeljan iz Fourierove analize periodičnih funkcij pravi, da moramo pri zajemanju podatkov periodične signale zajemati vsaj z dvakratno frekvenco, če jih želimo verodostojno določiti. Nyquistova frekvenca določa največjo frekvenco, ki jo z določenim sistemom še lahko opazujemo (Theobald 1992; Östman 1993; *Matlab* 1997; Kraus 1997, 376). DMR lahko glede na podan teorem pojmujemo kot približek dejanskega reliefa, podan s periodično funkcijo z določeno valov-

no dolžino. Pri tem so lahko nedvoumno rekonstruirane le take strukture reliefa, ki so vsaj dvakrat večje od intervala vzorčenja.

Poleg drugih, bolj zapletenih pogojev določanja primerne ločljivosti celične mreže DMR, so se najbolje obnesle empirične formule ali postopki ter nasveti iz prakse. Taki nasveti upoštevajo tudi to, da mora biti DMR geomorfološko primerno gladek. Najprej poglejmo razmerja med ločljivostjo virov in celično mrežo DMR. Razmerje med povprečno razdaljo med točkami virov in velikostjo celic DMR naj bi bilo nekoliko manjše od 1 in se giblje med 1 : 1 in 1 : 4 (*SCOP* 1999). Naveden kriterij ločljivosti je privzet s predpostavko, da imamo opravka s hibridno strukturo, v katero so poleg mreže točk vključene tudi raztresene točke in značilne črte. Brez njih bi bila priporočena ločljivost večja. Celična mreža DMR naj bi torej bila nekoliko gostejša od povprečne razdalje med vzorčenimi točkami. V tem smislu bi bilo uporabno npr. DMR 100, ki je bil zajet z ročnim odčitavanjem nadmorskih višin, interpolirati na ločljivost 50 m. Če bi izdelali DMR le iz plastnic, potem naj bi bila ločljivost celične mreže od 1,5 do 6 mm v odvisnosti od gostote plastnic (*SCOP* 1995, 17). Glede na omenjene kriterije bi lahko določili ločljivost celične mreže za merilo 1 : 25.000 med 35 do 150 m. Felicísimo (1994) predlaga pravilo, ki upošteva tudi povprečni naklon površja. Po njem dobimo velikost mrežne celice tako, da dvakratno vrednost ekvidistance delimo s tangensom povprečnega naklona površja. V tem primeru dobimo velikost celic 77 m pri uporabi DTK 25 z ekvidistanco 10 m in povprečnim naklonom 14,5° za Slovenijo.

Učinkovita in poleg tega enostavna empirična metoda določitve optimalne ločljivosti celične mreže za izdelavo DMR je izračun standardnih odklonov σ slojev naklonov površja. Računamo jih z interpolacijami virov s postopnim večanjem ločljivosti z razpolavljanjem intervala (Hutchinson 1996; Hutchinson in Gallant 1998). Ločljivost, pri kateri se začenja vrednost σ stabilizirati, je optimalna. Pomembno vlogo pri tovrstni metodi igra razgibanost površja. Omenjena metoda je še posebej primerna pri določanju ločljivosti celične mreže pri prostorsko enakomerno porazdeljenih virih.

Da je prav naklon površja najbolj občutljiv na spremembo ločljivosti, je s poskusi dokazal Gao (1997; 1998). Zanimiva je ugotovitev in dodatna potrditev omenjenega, da se z večanjem gostote virov za izdelavo DMR srednji kvadratni odklon m – napaka slojev naklonov in ukrivljenosti površja, veliko počasneje zmanjšuje kot napake sloja nadmorskih višin (Östman 1987b). Podobne poskuse je delal Takagi (2000), ki je ugotovil manjšo občutljivost na spremembo ločljivosti za sloje naklonov površja in odtokov površinskih voda kot pa za ekspozicijo površja. Dokazali so tudi vsaj do neke mere nasprotujoče si dejstvo, da je vertikalna natančnost modela obratno sorazmerna z ločljivostjo celične mreže (Veregin 1997). Prav gotovo pa je res, da mora biti razmerje med natančnostjo in ločljivostjo modela v povprečju nekajkrat manjše od 1.

Primerno ločljivost modela lahko podobno kot z računskimi metodami (dodatno) ugotavljamo tudi vizualno. Po opisanem načelu (Hutchinson 1996) razpolavljamo interpolirano celično mrežo in opazujemo značilnosti reliefa. Primerno ločljivost dobimo takrat, ko ugotovimo, da so značilnosti geomorfološko dovolj jasne.

Za določitev primerne ločljivosti za izdelavo DMR Slovenije iz podatkov različne kakovosti je treba preizkusiti marsikateri empirični recept. Verjetno ne bi naredili prevelike napake, če bi za začetek določili ločljivost na 20 m in jo nato po potrebi izboljševali vse do morebitnih 5–7 m ali 10 m za merilo 1 : 5000. S tem bi dodatno zadostili tudi zelo visoki gostoti plastnic Generalizirane kartografske baze reliefa (GKB-relief) na nekaterih območjih v Alpah. Do podobnega rezultata (12,3 m ločljivosti kot optimum) za

DMR iz plastnic merila 1 : 25.000, je prišel Ivačič (1996, 94), in sicer z ugotavljanjem srednjega kvadratnega odklona *m* pri različnih ločljivostih celične mreže. Seveda pa imajo pri določitvi ločljivosti na koncu vedno pomembno vlogo tudi namen uporabe DMR, možnost upravljanja, stroški itd.

Nič nismo omenili vertikalne ločljivosti. Glede na kakovost virov (povprečna natančnost znaša za ravninska območja nekaj manj kot 0,5 m) in hkrati za zadovoljitev najširšega spektra uporabnikov, bi za Slovenijo kot celoto popolnoma zadoščala decimetrska in kasneje, z uporabo kakovostnejših virov, centimetrska ločljivost oz. natančnost zapisa DMR.

4.3 Informacije o strukturi DMR

Pri informacijah o strukturi (računalniškega zapisa) gre predvsem za opis topoloških relacij med zapisi podatkov ter posebnih odnosov kot so geomorfološki, hidrološki ter izpeljani (naklon, vrhovi, izsuševalni kanali itd.; Martinoni in Bernhard 1998). V strukturi se odraža pomen zapisa podatkov reliefa, odnosi (relacije) med objekti in pomeni relacij. Podatki DMR so zapisani v take strukture, da čim bolje ponazarjajo dejansko ploskev reliefa ali bolje, področje obravnave. Po drugi strani strukture ne smejo biti preveč zapletene, in morajo biti, če se le da, obvladljive s standardnimi programi GIS. Osnovne skupine struktur, ki jih uporabljamo za izdelavo DMR, so precej uporabniško naravnane. Mednje sodijo (glej tudi Wood 1996):

- vektorska struktura,
- celična mreža,
- nepravilna trikotniška mreža (TIN) in
- hibridna struktura.

4.3.1 Vektorska struktura

Pri vektorski strukturi gre za zapis podatkov v obliki točk, črt (linija) ali območij (poligon, areal). Vektorsko strukturo enostavno implementiramo v GIS v obliki vektorskega modela, vendar je kot taka večinoma neprimerna za prikaz ploskve DMR. Izjema so vektorske strukture območij za zapis nerazgibanih ploskev reliefa, kot so jezera in morja ali pa območja železniških postaj. Poleg tega dajo npr. same geomorfološko pomembne točke, ki so na kartah dodatno označene z nadmorskimi višinami, grob vtis o površju. Tudi črte v obliki plastnic ali značilnih črt reliefa same po sebi učinkovito predstavljajo ploskev reliefa, še posebej, če jih primerno kartografsko opremimo. Vendar so algoritmi za analize takih zapisov zelo zapleteni (Schneider 1998).

Vektorska struktura je osnovna oblika zapisa za večino virov, namenjenih učinkoviti izdelavi DMR. Strukturo točk in črt lahko učinkovito povežemo v strukturo TIN (razdelek 4.3.3), hibridno strukturo (razdelek 4.3.4) ali (le točke) v enostavno celično mrežo (razdelek 4.3.2). Pri tem lahko štejemo v žični model povezane točke ali TIN med posebne vektorske strukture.

4.3.2 Celična mreža

Zapis podatkov v celično mrežo je v smislu celičnega oz. rastrskega modela osnoven rastrskim GIS. Celična mreža je struktura, s katero lahko zapišemo DMR v enostavnejšo obliko, imenovano DMV (razdelek 4.1). Model digitalne zvezne ploskve reliefa predstavlja v tem primeru množica diskretnih vrednosti točk ali kvadratkov (Schneider 1998), ki teselirajo površino. V nadaljevanju zaradi pojasnitve koncepta celične mreže podrobneje ločimo skupino naslednjih pojmov:

- raster,
- podoba,
- celična mreža,
- mreža točk.

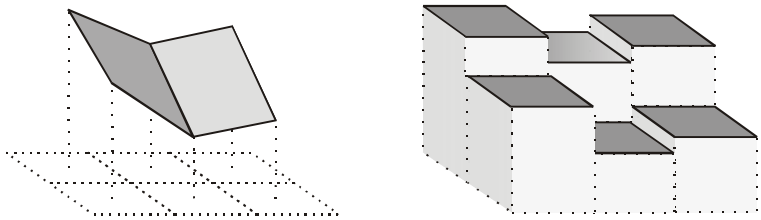
Osnovna zapisa podatkov v rastrski model sta *raster* in *podoba*. Podatki so v obeh primerih zapisani kot slikovni elementi ali *piksli*. Zaradi narave zapisa lahko govorimo o matrični strukturi. Razlika med podobo in rastrom je predvsem v tem, da med podobe spadajo predvsem posnetki daljinskega zaznavanja (in digitalne fotografije), pri rastru pa gre za bolj splošno množico pikslov, kot npr. za rastrirane podatke kartografskega gradiva. Raster lahko pridobivamo z neposrednim zajemom, npr. s tehniko pridobivanja »surovih« digitalnih satelitskih posnetkov (podob) ali pa z izdelavo posnetkov digitalne fotografije. Pri posrednem zapisu pa gre lahko npr. za skeniranje analognih podatkov. Rastre (podobe) pogosto obdelujemo (oz. izvajamo analize) s programi za obdelavo rastrsko podanih nekodiranih podatkov ali s programi za daljinsko zaznavanje (odvisno od namena).

Razlika med rastrom in *celično mrežo*, da so podatki celične mreže primerni za obdelavo (analize) v GIS, medtem ko to za rastrske podatke (večinoma) ne velja (*Arc/Info* 1998). Kot celično mrežo si predstavljamo kvadratke – *mrežne celice*, katerim v celoti pripišemo vrednost centralnih točk. Prav zapis reliefa v obliko DMV se navezuje na koncept celične mreže. Kljub temu, da so med posameznimi celicami kvadratkov razlike v vertikalnem smislu, štejemo tako ploskev (DMV) za odsekoma gladko. Podobno kot pri pridobivanju rastrskih podatkov, lahko dobimo celično mrežo z neposrednimi ali posrednimi metodami. K prvim lahko (pogojno) štejemo tehnologijo zajema DMR 100 (razdelek 2.4.1), k drugim pa tehnike rastriranja. Pri rastriranju gre za pretvorbo podatkov iz vektorske oblike v celično. V tem primeru lahko štejemo med vektorje tudi TIN ali hibridno strukturo. Tehnike rastriranja so pogosto vsebovane tudi v interpolacijskih metodah za pridobivanje DMV.

Podobno kot za celično mrežo velja tudi za koncept *mreže točk*. Pri tem so podatki fizično enako zapisani in se jih tudi uporablja predvsem v GIS. Predpostavlja se tudi, da točke, zapisane v obliko pravilne mreže točk, edine reprezentativno (in točno) predstavljajo vrednosti nadmorskih višin. Ob tem si lahko dodatno predstavljamo, da so podatki o reliefu vzorčeni v pravilno celično mrežo točk, v obe osnovni smeri povezani z daljicami. Tako dobljen žični model predstavlja zvezno (neprekinjeno) ploskev. Glede na opisano lahko zapis višin v mrežo točk štejemo med vektorske strukture. V disertaciji se naslanjamo predvsem na interpretacijo rastrskega modela kot celične mreže (slika 13; Rieger 1992, 6; *Arc/Info* 1998).

Primer interpretacije modela kot mreže točk je obstoječi DMR 100. Tak način je v tem primeru glede na podatke, ki jih vsebuje, najbolj pravilen. Če bi ga hoteli interpretirati s

celično mrežo večje ločljivosti, bi bilo smiselno pred tem posamezne točke na novo preračunati z metodami prevzorčenja, npr. z bilinearno interpolacijo. Dobljeni sloj bi pri tem pojmovali kot odsekoma gladko ploskev.



Slika 13: Primerjava dveh interpretacij ploskve DMR, na levi kot mreža točk (žični model) in na desni kot celična mreža (dvorazsežni histogram ali DMV).

Pravilne mreže točk se da enostavno zapisati v razporeditve, ki ne tvorijo kvadratov, ampak npr. trikotniške ali heksagonalne teselacije. Trikotne strukture so optimalne pri interpretaciji ploskve kot *mreže točk* (povezane v žični model). V tem primeru dosežemo, da je vsaka točka v povprečju geometrijsko najmanj oddaljena do sosednjih točk mreže. Na heksagonalne strukture naletimo pogosto v naravi, npr. na čebelja satovja. Prednost takšnih struktur je v primeru interpretacije ploskve kot *celične mreže* (satovja). Na tak način je (vplivna) okolica posameznih centralnih točk celic opisana učinkoviteje kot npr. s kvadratki. Slabost takšne strukture je, da se je ne da enostavno opisati z matrikami. Največ učinkovitih praktičnih aplikacij heksagonalne strukture je pri CCD--senzorjih digitalnih kamer. Obstajajo tudi polpravilne in nepravilne mreže, pri čemer lahko med slednje štejemo TIN ali celo plastnice (Rozman 1995).

4.3.3 Nepravilna trikotniška mreža (TIN)

Nepravilna trikotniška mreža (TIN) je poseben način zapisa vektorskih podatkov, ki jih teseliramo s ploskvami, in jo največkrat uporabljamo za zapis reliefa v DMR. TIN temelji na osnovi vektorskega shranjevanja podatkov v strukturo vozlišč, segmentov in trikotnikov (Goodchild in Kemp 1990; Ware et al. 1996; Kvamme et al. 1997, 123; Burrough in McDonnell 1998, 24, 64; *NCGIA* 2000), ki tvorijo zvezno povezavo trikotnih ploskev. TIN je torej vektorska struktura, pri čemer so topološki odnosi definirani po načelu poligonskih mrež in s tem zapletenejši od zapisa celične mreže. Model TIN je zasnoval Peucker leta 1978 (Burrough 1986, 41), in sicer za čim bolj »elastično« modeliranje reliefa brez nadštevilnih podatkov višin.

TIN proizvajamo z metodami triangulacije. Obstaja več metod, ki jih izbiramo v odvisnosti od podatkov (Ware et al. 1996), pričakovanih lastnosti triangulirane ploskve in možnih numeričnih problemov. Najbolj znana triangulacijska metoda je Delaunayjeva, s katero največkrat tvorimo dvorazsežne trikotnike. Njene osnovne lastnosti so lokalna definiranost (trikotniki so kolikor je možno enakokotni), karseda velika enakomernost območja (ploskve) triangulacije ter, da so višine projicirane na ravnino *xy* (De Floriani in Puppo 1992). Prav zadnje se da predvsem pri razgibanih ploskvah izboljšati s triangulacijami, ki upoštevajo vrednosti nadmorskih višin *H*. V takih primerih je npr. boljša trirazsežna Delaunayjeva triangulacija, ki daje v primeru triangulacije plastnic boljše rezultate predvsem na območjih nepopolnih plastnic. Po drugi strani pa porabi nekaj več časa za obdelavo.

V strukturo TIN lahko poleg točk vključimo tudi značilne črte zemeljskega površja. Pri DMR jih predstavimo kot značilne črte, ki pomenijo mehke prehode ploskve ali lomne črte, ki pomenijo prelom ploskve reliefa (*SPRING* 1996). Označitev TIN z lomnimi črtami lahko dodatno izboljša pretvorbo TIN v celično mrežo (ali mrežo točk) z interpolacijo. Najenostavnejša med tovrstnimi interpolacijskimi metodami je linearna. Posebej v primerih, ko so točke TIN precej narazen, je primernejša metoda bivariantne interpolacije s poligoni pete stopnje (Theobald 1992; *Arc/Info* 1998). Še bolje pa se obnese interpolacija s t. i. 'Bézierjevimi zaplatami ploskev' (angl. Bézier surface patches), ki omogoča zvezno odvedljivost med trikotniki s t. i. Clough-Tocherjevo shemo (Schneider 1998).

Največji problem TIN, izdelanega iz (golih) plastnic, je slabo upoštevanje geomorfoloških značilnosti površja. Pri tem je taka izdelava DMR še slabša od večine interpolacijskih metod na osnovi celične mreže. Uporaba sloja plastnic GKB-reliefa, pri katerem enostavno izdelamo TIN brez dodatnih izboljšav, povzroči, da so (Radovan et al. 1996, 406):

- vrhovi odrezani,
- vrtače in doline zapolnjene,
- struge rek večinoma previsoko, ker ni zajetih rečnih bregov, poleg tega lahko reke lokalno »tečejo« celo navzgor,
- zglajeni lomi reliefne ploskve, skalnati deli pa so monotone ploskve brez detajlov.

Z vključevanjem značilnih elementov reliefa postane TIN mnogo boljši (Carrara et al. 1997). Znani so tudi algoritmi za samodejno ustvarjanje značilnih črt in točk, ki so vključene v Intergraph Terrain Modeler ter v SCOP.TRI. Problem običajnih generatorjev TIN v GIS je, da ga ne moremo izdelati in uporabljati za zelo velika območja v enem kosu (kot se da npr. celično mrežo). Sicer pa obstajajo tudi boljši algoritmi, med njimi so enega izdelali v Sloveniji (I. Zore).

4.3.4 Hibridna struktura

Pri zasnovi TIN kombiniramo objekte točk in črt vektorske zasnove v območja trikotnikov. Med hibridne strukture pa štejemo tiste, ki kombinirajo pristopa celične mreže in vektorske strukture. Tako pri TIN kot tudi pri hibridni strukturi želimo s kombinacijo več objektov odpraviti slabosti enostavnih struktur, ki eksplicitno ne upoštevajo geomorfoloških značilnosti.

Hibridno strukturo vključuje program SCOP, ki omogoča izdelavo kakovostnega DMR. Omenjena hibridna struktura lahko prilagaja ločljivost celične mreže (mreža točk) razgibanosti površja ali gostoti točk virov (*SCOP* 1995, 18) in s tem omogoča nekakšno statično večločljivost. Dodatni vektorji, ki jih ta struktura zapisa v DMR podpira, so značilne točke ter oblikovne in lomne črte. Vse druge (raztresene) točke, ki jih je navadno veliko, so vključene v osnovno mrežo točk.

Največja slabost hibridnih struktur je, da z njimi ne moremo upravljati v standardnih programih GIS. Zanje potrebujemo posebne programe, ki so izdelani predvsem za upravljanje z DMR, vendar poskušajo pri tem posnemati nekatere funkcionalnosti GIS. Največja prednost teh struktur (predvsem v primerjavi s TIN) pa je, da se velika količina točk virov »skrije« v strukturo celične mreže kot osnova DMR, vse pomembne – zna-

čilne strukture pa se zapišejo v strukturo DMR posebej. O programu SCOP je obširnejši opis v dodatku D.1.

4.3.5 Druge strukture

Ker drugih struktur v disertaciji ne uporabljamo, o njih ne želimo obširno razglabljati. Predhodno opisane strukture so vse po vrsti statične, torej s fiksnimi topološkimi odnosi med posameznimi zapisi podatkov. Zaradi hitrejšega prikazovanja DMR in prilagodljivosti merilu vizualizacije ali karte se uveljavljajo elastični večločljivostni pristopi zapisa DMR. S takimi pristopi je lahko povezana tudi zbirka digitalnih podatkov reliefa (ZDPR), organizirana tako, da se podatki samodejno prilagajajo, redčijo ali zgoščajo glede na zahtevano ločljivost DMR. Osnovna ideja večločljivostnih struktur izhaja iz želje po čim bolj ekonomičnem zapisu velikega števila grafičnih podatkov. Pri tem velja omeniti razne metode stiskanja, pri katerih se kakovost podatkov ne spremeni, še večje stiskanje pa se doseže z metodami, pri katerih se kakovost podatkov nekoliko poslabša.

Raziskovalci so se največ ukvarjali s pristopoma večločljivosti pri celičnih mrežah in TIN. Pri celičnih mrežah je zelo učinkovita metoda s piramidnimi strukturami, zanimiv pristop pa omogoča valčna analiza kot izpeljanka iz Fourirjeve analize periodičnih funkcij (*Matlab* 1997; Oštir in Podobnikar 1999). Omenjeni metodi sta primerni predvsem za generalizacijo. Mimogrede omenimo, da je struktura TIN večločljivostna že v smislu uporabe trikotnikov različnih velikosti. Precej dovršeno samodejno zgoščevanje in generalizacijo omogoča tudi hierarhično organiziran TIN (De Floriani in Puppo 1992; De Floriani et al. 1996; Abdelguerfi et al. 1998; McArthur et al. 2000).

Poznamo še strukture s plastnicami in črtami vodotokov (metoda 'richline'), strukture, ki uporabljajo četverno drevo (angl. quad tree), ali pa strukture zapisa DMR, ki so dejansko definirane z matematično enačbo, ki predstavlja ploskev (Theobald 1992).

4.3.6 Primerjava struktur

Izmed predhodno opisanih struktur DMR podrobneje ovrednotimo tri najpomembnejše, in sicer celično mrežo, TIN in hibridno strukturo. Glede na izkušnje in analize (Lorriman et al. 1991; Theobald 1992; Abdul-Rahman 1994; Ware et al. 1996; *Arc/Info* 1998; Tempfli 1999a) primerjajmo njihove osnovne lastnosti (preglednica 2), pri čemer ima vsaka izmed njih prednosti in slabosti.

Največja prednost *celične mreže* je enostavnost matričnega zapisa podatkov in povezljivost z GIS. Matrike je možno zelo enostavno obdelovati z matematičnimi metodami. Osnovna slabost je neprilagodljivost spremembam reliefa. Za učinkovit približek dejanske ploskve površja potrebujemo zaradi morebitnih območij z visoko razgibanostjo (variabilnostjo) visoko ločljivost in s tem veliko redundantnih podatkov (preveč podatkov) na nerazgibanih območjih (Ware et al. 1996).

Prednost *TIN* pred celično strukturo je upoštevanje geomorfološke zapletenosti reliefa, možnost izračuna zapletenih prostornin ter zapisa pravega trirazsežnega reliefa, npr. s previsi ali jamami. Slabost TIN je zapletena in počasna obdelava, velika poraba vmesnega pomnilnika pri večini metod, zapletenejše analize ter problemi pri zapisu zelo velikega števila podatkov. Poleg tega so metode za uporabo podatkov različne kakovosti pri izdelavi TIN zelo zapletene.

Lastnost	Celična mreža	TIN	Hibridna struktura
Podpora značilnim točkam in črtam reliefa	*ne*	*da*	*da*
Prikaz gladkih odsekov ploskev z lomnimi črtami	*ne*	*da* (kompleksnejša interpolacija z ostro definiranimi mejami)	*da*
Cena za povečanje natančnosti	*visoka* (povečanje ločljivosti in redundance podatkov)	*nizka*	*srednja* (le dodajanje črt in točk ali pa povečanje ločljivosti)
Prilagajanje razgibanosti reliefa	*slabo*	*dobro*	*dobro*
Položaj vzorčenih točk virov	diktiran glede na celično mrežo	ploskev se prilagaja položajem točk	kombinacija celične mreže in TIN
Možnost prikaza točk virov na dejanskih lokacijah	*ne* (razen v srečnih naključjih)	*da*	*da* (samo značilne točke in črte)
Redundantni podatki zapisa	*da*	*ne* (ali malo)	*deloma* (manj kot pri celični mreži)
Zapletenost zapisa podatkov	*enostavna*	*zapletena*	*srednje zapletena*
Računalniški pomnilnik za zapis posam. točke	*majhen* (relativno, v primerjavi z drugima strukturama)	*velik* (zaradi zahtevne topologije in zapisa koordinat vsake točke)	*srednji*
Algoritmi za prostorske analize	*enostavni*	*srednje zahtevni*	*srednje zahtevni*
Zapletenost obdelave modela	*majhna* (vsaj v osnovi)	*velika*	*srednja*
Količina časa za izdelavo modela	*majhna*	*srednja*	*srednja*
Količina časa za izvajanje prostor. analiz	*majhna*	*velika*	*srednja*
Natančnost izvajanja prostorskih analiz	*dobra* (nekoliko generalizirani rezultati – odvisno od ločljivosti)	*dobra*	*dobra*
Prikaz površja (vizualizacija)	*dober* (pri manjši ločljivosti se lahko vidi celična struktura)	*dober* (pri navadnih metodah se razloči ploskve trikotnikov)	*zelo dober* (še posebej če se mreža zgosti z bilinearno interpolacijo do meje vidne ločljivosti)
Izguba kakovosti DMR glede na vire	*srednja*	*majhna* ali je ni	*srednja*
Uspešnost uporabe podatkov različne kakovosti	*srednja*	*slaba* (razen pri posebnih metodah)	*srednja* ali *dobra*
Združljivost s standardnimi progr. GIS	*dobra*	*slaba* (slabša kot pri celični mreži)	*zelo slaba*

Preglednica 2: Primerjava lastnosti celične mreže, TIN in hibridne strukture.

Obravnavana *hibridna struktura* pomeni dober kompromis med natančnostjo DMR ter zapletenostjo zapisa. Glede natančnosti je primerljiva s TIN, glede zapletenosti pa je nekje med celično mrežo in TIN, kar pomeni dobro optimizacijo. Največji problem hibridnih struktur je njihova neprepoznavnost v standardnih programih GIS. Povezava z GIS je možna le s pretvorbo v celično mrežo ali TIN.

Povzamemo lahko, da je za večino končnih uporabnikov prav gotovo najzanimivejša oblika zapisa modela reliefa v celično mrežo. Značilne črte in točke so zanimive le za zahtevnejše uporabnike. Glede na to, da jih lahko uspešno uporabljajo tako v TIN kot tudi hibridni strukturi, bi jih bilo smiselno voditi zapisane posebej kot neodvisne vektorske sloje. TIN in hibridna struktura sta zanimivi predvsem pri nekaterih postopkih predobdelave DMR ter pri izboljšavah končnega izdelka DMR.

4.4 Zvezne funkcije za opis DMR

Pri matematičnih zapisih reliefa (površja, ploskve) v *digitalni model reliefa* (DMR) gre za predstavitve prostorske porazdelitve nadmorskih višin H z zvezno (nepretrgano) in po regijah odsekoma odvedljivo (gladko) ploskvijo nad dvorazsežno ravnino *xy*. Gre torej za zvezno variacijo atributa H prek dvorazsežne ravnine (Burrough 1986, 39). Ker se omejimo le na atribut H nad dvorazsežno ravnino *xy*, govorimo o enoličnem 2,5--razsežnem zapisu.

Zvezno ploskev DMR predstavimo v prvem približku kot matematični model, opisan s parom $DMR_1 = (D, f)$, kjer je $H = f(x, y)$ zvezna funkcija višin, definirana prek območja D v ravnini *xy*. V drugem približku predstavimo DMR odsekoma gladko ploskev z odsekoma zvezno funkcijo (torej več funkcijami) kot $DMR_2 = (\Sigma, F)$. Pri tem je Σ v regije $\{R_{1,} R_{n,} ..., R_{n,}\}$ porazdeljeno območje D in F družina odsekoma zveznih funkcij $H = f_i(x, y)$, definiranih na regijah R_i območja Σ (De Floriani in Puppo 1992).

V praksi lahko kot dober približek predstavitve DMR uporabimo množico zveznih funkcij (Martinoni in Bernhard 1998) ali pa veliko število diskretnih vrednosti v ravnini *xy*, ki jih povežemo v učinkovit digitalni zapis matrike, ki predstavlja celično mrežo (DMV). Lahko pa uporabimo topološko zahtevnejša TIN (*SPRING* 1996; razdelek 4.2) in hibridno strukturo.

V nadaljevanju razdelka so najprej opredeljene interpolacijske metode. Kot najpomembnejše so opisane osnovne metode za interpolacijo ploskve DMR s poudarkom na takih, ki omogočajo učinkovito upoštevanje podatkov različne kakovosti. Take metode uporabljamo pri izboljšanju ploskve DMR pri postopkih predobdelave ter obdelave. Mednje spada kompleks metod za samodejno reduciranje in dodajanje podatkov, ki posredno pogojujejo predvsem statistično in deloma tudi geomorfološko izboljšanje ploskve reliefa. Izrazito geomorfološko izboljšanje omogočajo metode hidroloških analiz. Ploskev DMR je treba v določenih primerih prevzorčiti, kar opisujejo posebne interpolacijske metode. Pomemben element pri izdelavi DMR je primerna gladkost v odvisnosti od privzetega področja obravnave. Na to moramo paziti tudi pri spajanju (mozaičenju) posameznih delov DMR. Ploskev reliefa dodatno opisuje njena pravilna umestitev v primeren koordinatni sistem, tako v horizontalnem kot tudi v vertikalnem smislu.

4.4.1 Osnove interpolacije

Interpolacijski algoritmi prostorske predikcije pojavov temeljijo na t. i. prostorski avtokorelaciji. Na žalost ni nobena izmed interpolacijskih metod univerzalna. Predvsem na robovih območij se pogosto uporablja tudi ekstrapolacija (Press et al. 1995, 105).

Širši pojem od interpolacije je *aproksimacija* kot postopek iskanja funkcije, ki naj bi v našem primeru predstavljala DMR. Aproksimacijska funkcija je približna in analitična ter izraža npr. empirične vrednosti podatkov virov ali pa zapisa DMR v obliko celične mreže (DMV). Parametre aproksimacijske funkcije določamo najpogosteje po metodi najmanjših kvadratov, izmed funkcij določenega tipa poiščemo tisto, za katero je vsota kvadratov odstopanj aproksimacijskih in ustreznih empiričnih vrednosti najmanjša oz. minimalna. Aproksimacijska funkcija, ki poteka natanko skozi vse dane točke, ima toliko parametrov, kolikor je točk. Imenujemo jo interpolacijska funkcija, postopek iskanja oz. računanja točk na njej pa *interpolacija* (Bronštejn in Semendjajev 1963, 666).

Glede na postavljena izhodišča in cilje uporabljamo v disertaciji pri predobdelavi in obdelavi metode aproksimacij in interpolacij, ki so primerne za izdelavo DMR iz obstoječih geodetskih podatkov različne kakovosti. Poenostavljeno imenujemo postopke aproksimacij kar *približne metode interpolacij*, postopke interpolacij pa *točne metode interpolacij*. Take terminologije se držimo v nadaljevanju disertacije. Metode interpolacij (aproksimacij) lahko klasificiramo na mnogo načinov, npr. (Radovan 1988a; 1988b; 1990; Goodchild in Kemp 1990):

- ravninske/prostorske,
- lokalne/globalne,
- analitične/statistične,
- stohastične/deterministične,
- neprekinjene/prekinjene,
- metode na pravilnih/nepravilnih mrežah točk,
- točkovne/arealne (območne) v prostoru,
- glede na matematično-geometrijske lastnosti (Schut 1976), področja uporabe itd.,
- glede na strukturo zapisa (Skidmore 1997); za interpolacijo v celično mrežo je veliko metod, za interpolacijo v TIN pa malo.

4.4.2 Interpolacija ploskve reliefa

Viri, ki so na razpolago, ponavadi ne zadoščajo za izdelavo DMR, npr. z enostavnim rastriranjem točk v celično mrežo določene ločljivosti. Kljub vsemu pa predstavljajo posamezne vzorčene točke semantično celoten sistem, imenovan ploskev reliefa. Interpolacija DMR pride v poštev v naslednjih primerih:

- prostorska predikcija pojavov, ki so pomanjkljivo zajeti (Radovan 1992c) in
- neprostorska predikcija pojavov z različnimi vrednostmi virov.

Zanimivo in hkrati paradoksalno je, da z vse več kakovostnih virov, ki so na razpolago, izginja problem iskanja čim boljše metode za interpolacijo. Zelo gostih in natančnih virov navsezadnje niti ni treba interpolirati. Od interpolacije pričakujemo pridobitev plos-

kve, ki bo čim bolj zadostovala predhodno definiranemu področju obravnave za zemeljsko površje. To pomeni, da mora biti interpolirana ploskev vsaj odsekoma zvezna ter 2,5-razsežna glede na ravnino *xy*. Različne interpolacijske metode in parametri peljejo k različnim rezultatom, ki se praviloma med seboj ne razlikujejo bistveno. Kljub temu je treba biti pri tem previden, saj se lahko rezultati po določenimi pogoji bistveno razlikujejo med seboj. Interpolirano ploskev je treba prilagoditi oblikovanosti zemeljskega površja, ki je spremenljiva, neponovljiva in je ne moremo matematično enolično določiti.

Interpolacijski algoritem, ki je učinkovit na gladkem površju, lahko na zelo razgibanem reliefu popolnoma odpove. Glede na pomen podatkov lahko za modeliranje zemeljskega površja uporabljamo na različnih območjih različne algoritme. Pri obdelavi DMR je optimalna vzpostavitev ekspertnega sistema, ki vključuje najboljše metode za interpolacijo (glej npr. Goodchild in Kemp 1990; pri tem ekspertni sistemi dejansko šele danes prihajajo do veljave). Učinkoviti interpolacijski algoritmi vsebujejo razumevanje in pravilno interpretiranje tako geometričnih kot danih semantičnih informacij (Rihtaršič 1992a). Z interpolacijo v ožjem smislu lahko kakovost DMR glede na izvorne podatke samo ohranimo. Vendar lahko dobimo v širšem smislu celo DMR, ki je natančnejši in geomorfološko boljši od podatkov virov, če:

- imamo na istem mestu (v horizontalnem smislu) več podatkov – meritev (neprostorska predikcija),
- upoštevamo tudi hidrološke pogoje pri izboljšavi,
- med interpolacijo ne upoštevamo nekaterih prikritih grobih napak,
- glede na slabo definirane vhodne podatke izvajamo še druge geomorfološke izboljšave kakovosti DMR.

Kakovost modela reliefa je (v smislu interpolacije) odvisna od porazdelitve in gostote virov. Pri interpolaciji virov različne kakovosti je treba čim bolj smiselno upoštevati parametre njihove kakovosti. Pri tem je optimalno, da gre ploskev reliefa čim bližje tistih podatkov, za katere vemo, da so najbolj točni in natančni, poleg tega pa upoštevajo tudi podatke slabše kakovosti. Zanemariti ne smemo tudi geomorfoloških značilnosti površja. Pomembno je tudi vedeti, ali predstavljajo viri vrednost, ki je bila izmerjena (DMR 100, plastnice, geodetske točke, CBPS itd.), ali vrednost, ki je »razmazana« in predstavlja širšo okolico (InSAR DMV 25, DMR 25 itd.).

Kakovost virov, hkrati z nekaterimi geomorfološkimi značilnostmi, lahko upoštevamo s pripadajočimi vrednostmi, ki utežijo interpolirano ploskev DMR tako, da gre bližje podatkov virov z večjo utežjo. Tako pripisane uteži pridejo najbolj do izraza na območjih, kjer so viri zelo gosti, in še posebej tam, kjer je na istem mestu (v horizontalnem smislu) več nadmorskih višin z različnimi vrednostmi. Geomorfološke značilnosti je najlažje upoštevati s klasifikacijo glede na tip značilnosti. Pri tem mora tovrstne pogoje upoštevati primerno izbrana metoda interpolacije s pripisom primerno visokih uteži. Pri tem je treba izvajati tudi hidrološke izboljšave DMR.

Metode, primerne za interpolacijo DMR iz podatkov različne kakovosti, so približne. Najboljše so lokalne, ki se pri veliki količini podatkov predvsem v primerjavi z globalnimi (ki uporabljajo le eno funkcijo za vse obravnavano območje) bolje prilagajajo površju. V nadaljevanju obravnavamo nekaj izmed mnogih uveljavljenih in hkrati osnovnih metod, kot so kriging, interpolacije z zlepki in metode utežne obratne razdalje (IDW). V nadaljnjih razdelkih so implicitno omenjene in obravnavane tudi nekatere bolj

zapletene ali precej posebne metode interpolacij, ki so bile večinoma uporabljene v praktičnem delu disertacije.

4.4.2.1 Metode kriging

Učinkovite interpolacijske metode, ki jih štejemo med približne ali pa celo med točne, so v geostatistiki znane pod imenom 'kriging' (Kraus 1998; Burrough in McDonnell 1998, 102). Kriging ali kolokacija je zelo prefinjena in zapletena metoda lokalne (lahko pa tudi globalne) in največkrat točkovne interpolacije. V splošnem deluje po načelu deterministične spremenljivosti, torej minimalnega odklona srednje vrednosti (Goodchild in Kemp 1990; Oliver in Webster 1990; Cressie 1993) in pri tem upošteva avtokorelacijske strukture prostorskih vrednosti z namenom določitve optimalnih uteži različnim oddaljenostim od točk ter lahko upošteva tudi slučajne, nekorelirane vplive (šume). Kriging je torej optimizirana metoda prostorske linearne predikcije, pri kateri ocenjujemo vrednosti z najboljšo linearno nepristransko oceno ali z utežnim linearnim premikanjem povprečja (Cressie 1993). Metodo kriging ter spremljajoče vmesne korake, analize trenda, kovariograme in variograme uporabljamo pri modeliranju oz. predikciji prostorsko zveznih vrednosti ali ploskev na osnovi danih točk, območij ali volumnov vzorcev (Burrough in McDonnell 1998, 133). V splošnem je treba za interpolacijo s krigingom veliko predhodnega znanja o prostorski statistiki.

Kriging vključuje večina standardnih programov za geostatistiko in GIS ter specializirani programi za interpolacijo DMR, kot sta npr. Surfer in SCOP. Metoda kriging je predvsem v povezavi s programom SCOP znana tudi pod imenom 'interpolacija po metodi najmanjših kvadratov', saj gre za iskanje najmanjše variance ali pa kot 'linearna predikcija' (Kraus 1998). Interpolacijski algoritem, ki ga je zasnoval E. Wild, je v tem primeru lokalen in uporablja t. i. računske enote. Pri tem poskuša najti primerno funkcijo (teoretično Gaussovo ploskev oz. zvonasto krivuljo) glede na posamezne točke, ki jim pripišemo vrednosti filtra oz. varianco (Schut 1973). Zvonasta interpolacijska krivulja omogoča, da ne dobimo preveč lažnih nihanj DMR. Vrednosti filtra med drugim kontrolirajo tudi stopnjo gladkosti ploskve. V interpolacijo so lahko vključene tudi oblikovne in lomne črte, ki pri tem prelomijo posamezno računsko enoto na več odsekoma gladkih ploskev. Kriging je v tej izvedbi prav zaradi posebnega namena uporabe interpolacije DMR neprimerno enostavnejši in učinkovitejši za uporabo kot v splošnem.

Metoda linearne predikcije je v programu SCOP izboljšana s kovariantnimi funkcijami, ki se spreminjajo glede na okolico, lokalne razmere reliefa in parametre, ki jih pridobimo za vsako 'računsko enoto'. Program omogoča pripis različnih vrednosti filtra za raztresene in značilne točke ter za točke oblikovnih in lomnih črt, kar omogoča iskanje kompromisa med pravilnostjo reliefa na eni strani ter med primerno mehkostjo na drugi (Kraus 1996). Vrednost filtra, ki ga pripišemo posamezni skupini virov, nima neposredne povezave z natančnostjo podatkov, kljub temu pa so elementi kakovosti virov najboljše izhodišče za določitev vrednosti. Dodatna metoda določitve dobrih uteži posameznih virov je zgoščevanje celične mreže ali značilnih črt. Prednost metode linearne predikcije je možnost izračuna standardnega odklona za vsako ocenjeno vrednost posebej (variogram). Na ta način je možna tudi kontrola natančnosti. Podatki o programu SCOP so v dodatku D.1.

4.4.2.2 Metode z zlepki

Ime zlepek (angl. spline) izhaja iz kakršne koli večkrat zvezno odvedljive funkcije, sestavljene iz poligonov, navadno na odsekih med posameznimi točkami. Poznamo dve osnovni metodi ustvarjanja zlepkov, in sicer B- in pp-zlepke (*Matlab* 1997). Največkrat se uporablja kubične zlepke (de Masson d'Autume 1976). Cilj take interpolacije je, da dobimo gladko funkcijo prvega odvoda ter zvezno funkcijo drugega odvoda (Press et al. 1995, 113). Metode interpolacij z zlepki torej producirajo krivulje najmanjših ukrivljenosti skozi dane točke (točne metode interpolacij). Lahko jih ponazorimo z zvijanjem gumijastega lista okoli danih oslonilnih točk. V splošnem so metode interpolacij z zlepki dobre za rahlo razgibana površja in slabe na prelomih. Spadajo med lokalne metode interpolacij, torej se dobro prilagajajo reliefu (Hutchinson in Gallant 1998, 112).

Zlepki so zelo učinkovito na poseben način aplicirani v samostojnem programu ANUDEM (Hutchinson 2000; dodatek D.3) oz. modulu Topogrid v Arc/Infu. Metoda je precej zapletena (Hutchinson 1988; 1989) in jo opisujemo le v grobih korakih. Uporablja iterativno interpolacijo (s končno razliko), ki začetno celično mrežo male ločljivosti interpolira z razpolavljanjem do največje ločljivosti, ki jo določimo pred tem (Hutchinson 1988). V prvem približku se uporablja kar bilinearna interpolacija (Hutchinson 1996; razdelek 4.4.5). Med posamezno iteracijo se izračunavajo ploskve z minimalno ukrivljenostjo – zlepki, ki se uporabljajo za izračun razgibanosti površja (prvi in drugi odvod). Med vsako iteracijo, torej za vsako ločljivost celične mreže, se podatki točk pripišejo najbližji centralni točki mrežne celice. Pri tem nastane manjša napaka, ki je odvisna od naklona površja ter razdalje med pripisano točko in centrom celice. Pri predpostavki, da je taka razdalja naključna, lahko določimo varianco s $\sigma^2 = (d^2 + n^2)/12$. Pri tem sta *d* velikost celice in *n* naklon površja (Hutchinson 1996). Prav napaka, ki jo dobimo s pripisom vrednosti, določa stopnjo glajenja reliefa. Celicam, katerim se ne pripiše nobena točka vira, se izračuna vrednost z Gauss-Seidelovo iteracijo. Pri tem se upošteva izračunana razgibanost površja.

4.4.2.3 Metode utežne obratne razdalje (IDW)

Osnovna ideja metod utežne obratne razdalje (IDW, iz angl. inverse distance weighted) je, da se z oddaljenostjo od posamezne točke vira zmanjšuje njen vpliv. To pomeni, da se večje uteži pripišejo vrednostim bližje danih točk in obratno (Chou 1997; Kvamme et al. 1997, 117). Rezultat takšnega postopka je odvisen predvsem od uteži, ki jih dodelimo razdaljam ter od polmera (lokalnosti) območja interpolacije. Obratno vrednost razdalje lahko namreč kvadriramo ali kako drugače funkcijsko spremenimo (Schut 1973; 1976), s čimer spremenimo utež bližini interpolirane točke. Metoda se dobro obnese na rahlo razgibanih območjih in je slaba na prelomih ter na območjih vrhov in dnov vrtač, saj ni interpolirana točka nikoli višje oz. nižje od danih točk.

4.4.3 Reduciranje/dodajanje podatkov

Reduciranje odvečnih in dodajanje podatkov virov za pridobitev čim boljšega modela reliefa štejemo k predobdelavi DMR. Pri tem ne gre neposredno za interpolacijo ploskve izdelka DMR, temveč za boljšo porazdelitev podatkov virov za obdelavo. *Reduciranje podatkov* virov postaja aktualno z vedno večjo količino dodatnih podatkov, ki pri vnaprej določeni ločljivosti ne izboljšajo ploskve DMR. Gostota točk, ki je primerna za obdelavo, je torej odvisna od ločljivosti in merila predvidenega DMR ter razgibanosti

površja. Primerno jo obrazložimo z Nyquistovim teoremom vzorčenja (razdelek 4.2.2). Pri podatkih različne kakovosti moramo poleg teorema vzorčenja upoštevati tudi načelo nadštevilnih meritev (uteži) na istih ali podobnih položajih v horizontalnem smislu. Pri tem gre za upoštevanje točnosti in natančnosti virov pri obdelavi DMR.

Pravila vzorčenja poskušajo izpolnjevati nekatere uveljavljene fotogrametrične metode zajema podatkov s pomočjo stereoparov aeroposnetkov. Glede na to, da smo v našem primeru vezani na predhodno zajete podatke, take metode ne pridejo neposredno v poštev. Kljub vsemu pa jih obravnavamo, saj vsebujejo osnovne ideje o pripravi virov za obdelavo. Kot del predobdelave omogočajo take metode primerno reduciranje in celo zgoščevanje virov na območjih, kjer bi sicer z interpolacijo DMR izgubili na kakovosti. Pomembne metode fotogrametričnega zajema podatkov za izdelavo DMR so (Rihtaršič in Fras 1991; Burrough in McDonnell 1998):

- selektivno vzorčenje (angl. selective sampling),
- stopnjujoče vzorčenje (angl. progressive sampling) in
- kombinirano vzorčenje (angl. composite sampling).

Selektivno vzorčenje je ročna metoda zajemanja podatkov in temelji na zajemanju točk oz. črt vzdolž značilnih črt površja, ki predstavljajo meje naravnega ali antropogenega značaja. Metoda je uporabna predvsem v primeru zajema virov na zelo razgibanem površju. Iz zajetih točk lahko enostavno izdelamo TIN.

Metoda *stopnjujočega vzorčenja* je polsamodejna. Predlagal jo je B. Makarovič (1973). Gostota zajetih točk se dinamično prilagaja razgibanosti površja. Najprej določimo velikost največje in najmanjše mrežne celice ter največjo še sprejemljivo ukrivljenost ali razlike v višinah površja. V prvem približku so zajeti podatki z najmanjšo vnaprej določeno ločljivostjo in analizirana ukrivljenost površja. Nadmorske višine je treba odčitati ročno. Nato se celična mreža iterativno zgoščuje z razpolavljanjem na območjih, kjer ukrivljenost površja presega dopustno vrednost, vse do največje vnaprej določene ločljivosti. S to metodo dobimo visoko gostoto podatkov na istih območjih kot z metodo selektivnega vzorčenja, poleg tega pa tudi na neznačilno razgibanih območjih. Metoda je uporabna za zajem podatkov enostavnega in ne preveč razgibanega zemeljskega površja, slabša pa je za označitev območij antropogenega značaja s prelomi površja ter za močno razgibano alpsko površje.

Metoda *kombiniranega vzorčenja* vključuje opisani metodi stopnjujočega in selektivnega vzorčenja (Makarovič 1977). Pri tej metodi uporabimo najprej selektivno vzorčenje, s čimer zajamemo t. i. skelet reliefa (značilne točke in črte). V nadaljevanju pa uporabimo metodo stopnjujočega vzorčenja za zapolnitev praznin. Kombinirano vzorčenje je optimalno za izdelavo dobrega DMR s fotogrametrično obdelavo. Pri tem izkoriščamo prednosti topologije TIN in celične mreže.

Med metode vzorčenja pogojno štejemo tudi pridobivanje plastnic, ki se jih zajema pri upoštevanju vnaprej določene ekvidistance. Mednje pa sodi tudi neselektivni zajem nadmorskih višin v uniformirano mrežo (primer je DMR 100).

4.4.3.1 Reduciranje odvečnih podatkov

Reduciranje podatkov s preveliko gostoto izvajamo predvsem v primeru uporabe virov z enako ali podobno kakovostjo. Takšne primere pričakujemo predvsem pri virih, zajetih z laserskim skeniranjem. Kot kriterij za izločanje se v fotogrametriji uporablja iterativna

metoda primerjave najmanjših kvadratov (angl. least-squares matching; Kraus 1997, 376), ki analizira razgibanost površja in odstranjuje nadštevilne podatke na homogenih in nerazgibanih območjih. Redukcijo podatkov lahko izvajamo tudi z nekaterimi metodami prevzorčenja (razdelek 4.4.5).

Odvečne podatke lahko reduciramo tudi pri kombinaciji podatkov z različno kakovostjo. V tem primeru je treba upoštevati uteži, določene glede na kakovost posameznih virov, geomorfološke značilnosti podatkov virov ter njihovo medsebojno oddaljenost. Alternativno si lahko pomagamo s predobdelavo virov različne kakovosti z utežnim seštevanjem, s čimer določimo novo, skupno vrednost podatkov virov.

4.4.3.2 Dodajanje manjkajočih podatkov

Dodajanje podatkov na območjih, kjer manjkajo, lahko izvajamo po *analogiji* metod *stopnjujočega* in/ali *selektivnega vzorčenja* pri predobdelavi. Pri uporabi kombinacije obeh metod lahko govorimo o *analogiji metode kombiniranega vzorčenja*. Manjkajoče podatke največkrat dodajamo slojem plastnic za zapolnjevanje praznin med njimi. S tem omogočimo, da kasneje s približno interpolacijsko metodo, ki jo uporabimo za izdelavo DMR iz raznih obstoječih podatkov, karseda pravilno (statistično in geomorfološko) upoštevamo podatke virov. Ploskev reliefa se torej na tak način res »ukrivlja« na želenih območjih. Pri dodajanju manjkajočih podatkov torej ne gre za zajem virov, temveč za vzorčenje točk prek podatkov obstoječih virov.

Analogija stopnjujočega vzorčenja pomeni označitev območij različne razgibanosti. Pri tem si lahko pomagamo z referenčnim DMV. V največ primerih izvajamo vzorčenje na osnovi slojev plastnic. Pri tem označimo tudi območja, kjer plastnic ni, in sicer na izrazito ravninskih, strmih in razgibanih delih površja. Tako dobljena območja različne razgibanosti, in kjer ni plastnic, vzorčimo s točkami različne gostote v odvisnosti od razgibanosti. Kot podatke za vzorčenje lahko uporabimo tudi kak neodvisen vir, npr. celično mrežo zelo natančnega DMV. Največkrat pa dodajamo podatke kar z interpolacijo sloja, ki ga zgoščujemo, v našem primeru plastnic. Pri tem je pomembno, da jih interpoliramo z metodo, ki najbolje upošteva dejanske geomorfološke značilnosti površja, kot ga ponazarjajo. Pri tem uporabljamo točne metode, npr. 'interpolacijo naravnih sosedov' (Wyatt 2000), ki zanesljivo upoštevajo geomorfološke značilnosti. Kot relativno dober približek lahko uporabimo celo enostavno linearno interpolacijo. Največ tovrstnih metod temelji na izdelavi TIN, lahko pa tudi na izdelavi celične mreže (LIDIC). Glede na tako dobljeno ploskev reliefa izračunamo vrednosti vzorčenih točk različne gostote. Zelo pomembno je, da pred celotnim postopkom vse grobe napake (plastnic) odkrijemo in izločimo. Problemi se pojavljajo predvsem na območjih, kjer so plastnice nepopolno digitalizirane (prekinjene), pri čemer se lahko zgodi, da z dodajanjem podatkov končni DMR celo poslabšamo. Na takih območjih lahko vzorčene podatke izločimo ali posebej označimo.

S poenostavitvijo metode po analogiji stopnjujočega vzorčenja lahko točke vzorčimo tudi *pavšalno*, z *enakomerno porazdelitvijo* za vse obravnavano območje, brez upoštevanja razgibanosti ali gostote plastnic. V tem primeru pridemo do kakovostnih rezultatov predvsem v primerih izrazito enakomerne porazdelitve plastnic.

Analogija selektivnega vzorčenja pomeni pridobivanje značilnih črt in točk ali drugih značilnosti reliefa glede na interpolirane plastnice (skelet reliefa). Take podatke pogosto pridobivamo kar z ročno digitalizacijo kart ali fotogrametrično. Največ samodejnih metod temelji na osnovi TIN, izdelanega iz plastnic (npr. Heitzinger in Kager 1998), ali na

podlagi celične mreže (npr. Hutchinson 1988). Slednje metode so na splošno precej slabe. Kljub vsemu se da skelet reliefa zelo dobro izluščiti z metodami, temelječimi na celični mreži, interpolirani iz plastnic. Ena takih metod je predlagana na osnovi interpolacije LIDIC (interpolacija plastnic z obratno linearno razdaljo; Oksanen in Jaakkola 2000; Jaakkola in Oksanen 2000). Poseben pristop klasifikacije območij slemen in dolin z analizo ugnezdenih plastnic na osnovi grafov pa je predlagal Cronin (2000).

4.4.3.3 Dodajanje manjkajočih podatkov na osnovi TIN

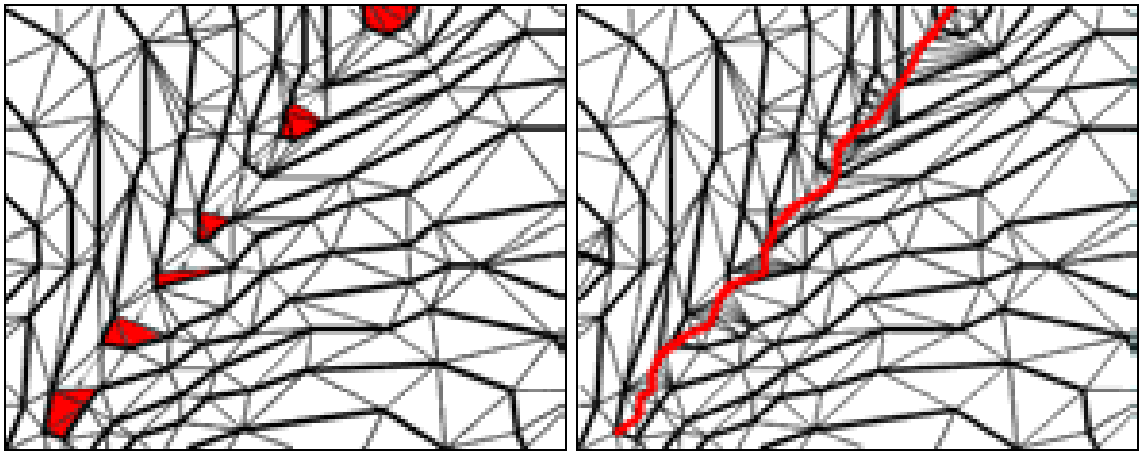
Analogija stopnjujočega vzorčenja

Za dodajanje manjkajočih podatkov po analogiji stopnjujočega vzorčenja izdelamo TIN na osnovi plastnic (razdelek 4.3.3). Pri vzorčenju je treba upoštevati preprosto dejstvo, da uporabljamo pri nadaljnji obdelavi interpolacijske metode, ki ploskev reliefa relativno gladko interpolirajo (razdelek 4.4.2). Prav zato je najbolje, da pridobimo vrednosti vzorčenih podatkov iz TIN kar z linearno interpolacijo, ki se še posebej izkaže na robovih teras in jež.

Analogija selektivnega vzorčenja

Večina algoritmov, ki delujejo po analogiji selektivnega vzorčenja, ne izračunava dejanskih značilnosti reliefa, kot so vrhovi in grebeni, temveč računa kratke odseke črt ali išče točke, ki glede na razgibanost površja izboljšajo porazdelitev podatkov. Pridobljene podatke vključi nato v popravljen TIN. V tem primeru gre lahko navsezadnje za pridobivanje točk zelo visoke gostote, brez črt. Tovrsten algoritem so izdelali v Švici in ga preizkusili na manjših testnih območjih (Huber 1995). V grobem poteka po naslednjih korakih:

- iskanje lomnih točk plastnic (z veliko ukrivljenostjo),
- reduciranje omenjenih lomnih točk na značilne,
- iskanje lomnih točk na sosednji plastnici,
- linearna interpolacija vmesnih točk med vsemi pari sosednjih točk (sosednjih plastnic).

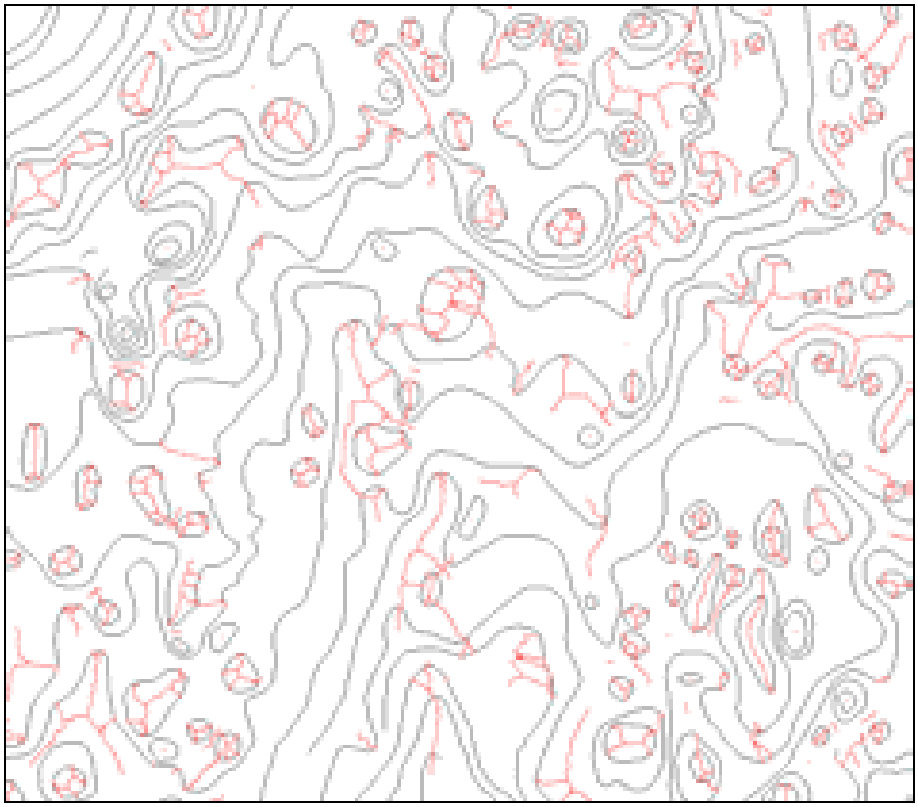


Slika 14: Triangulacija plastnic z določitvijo značilnih črt. Levo: povezovanje horizontalnih trikotnikov (rdeče) na isti plastnici v območja. Desno: določitev značilne črte (rdeče) za celoten greben (Heitzinger in Kager 1998).

Bolj zapleten algoritem, ki bolje opisuje značilnosti reliefa, temelji na osnovi prepoznavanja značilnosti sistemov trikotnikov v TIN, izdelanih iz plastnic (Heitzinger 1998; Heitzinger in Kager 1998). Algoritem poteka v grobem po naslednjih korakih (slika 14):

- iskanje trikotnikov TIN, potencialno primernih za nadaljnje iskanje značilnosti površja (horizontalni trikotniki ter območja plastnic z veliko ukrivljenostjo),
- ugotavljanje odnosov med sosednjimi trikotniki in povezovanje v območja,
- hierarhična klasifikacija območij, potrebnih za iskanje značilnih točk in črt,
- povezovanje značilnih območij v značilne črte in določitev značilnih točk,
- nova izdelava TIN z upoštevanjem pridobljenih značilnih točk in črt.

Za interpolacijo značilnih črt med plastnicami se je po pridobljenih izkušnjah kot najmanj problematična in zato najboljša izkazala kar enostavna linearna interpolacija. Pri vseh drugih interpolacijskih metodah se je po pravilu pojavljalo več problemov. Omenjeni algoritem uporablja za interpolacijo višin značilnih točk vrhov in dnov vrtač rotacijski paraboloid, in za sedla hiperboloid. Slika 15 prikazuje dejanski rezultat ustvarjanja značilnih črt in točk na območju tipične kraške pokrajine. Kljub temu da je na takem površju zelo težko proizvesti značilne črte, so dobljene črte zelo pomagale pri interpolaciji DMR.



Slika 15: Samodejno ustvarjanje značilnih točk in črt (rdeče) glede na plastnice za manjše območje tipične kraške pokrajine.

4.4.3.4 Dodajanje manjkajočih podatkov na osnovi celične mreže

Analogija stopnjujočega vzorčenja

Metod, analognih stopnjujočemu vzorčenju podatkov med plastnicami na osnovi celične mreže, je malo. Pri tem je najpomembnejši razlog ta, da tovrstne metode niso tako kakovostne kot tiste na osnovi TIN. Ena izmed novejših učinkovitih metod, ki je lahko celo boljša od TIN, se imenuje LIDIC (angl. linear inverse distance interpolation from contours). Spada med točne metode interpolacije pri upoštevanju vnaprej rastriranih plastnic in drugih rastriranih točk (ali črt). Podoben algoritem točne linearne interpolacije uporablja program Idrisi, le da je preprostejši. Kot rezultat dobimo nekoliko stopničasto ploskev reliefa (Podobnikar 1995b) in vzorce v obliki šestkrake zvezde, predvsem okoli posamičnih točk. Splošna slabost algoritmov po analogiji stopnjujočega vzorčenja na osnovi celične mreže je zmanjšanje natančnosti na območjih plastnic, kjer se vrednosti pripišejo posameznim mrežnim celicam z enostavnim rastriranjem (Kvamme et al. 1997, 113).

Metoda *LIDIC* odpravlja pomanjkljivost Idrisijevega algoritma ter tudi metod IDW, ki se slabo obnesejo na območjih prelomov površja, npr. na grebenih (glej razdelek 4.4.2.3; Kvamme et al. 1997, 117), ter druge pomanjkljivosti takih metod (glej Hutchinson 1988). Glavna ideja metode LIDIC je interpolirati plastnice tako, da pridejo na dan osnovni implicitno vsebovani podatki o oblikovanosti površja (Oksanen in Jaakkola 2000; Jaakkola in Oksanen 2000). Za osnovno enoto interpolacije je izbran kar osnovni interval med dvema plastnicama oz. njegova ekvidistanca. Na območjih pretrganih ali manjkajočih plastnic se pojavi velik problem pri določitvi intervala, kar sem rešil inovativno s posebnimi metodami. Celoten postopek interpolacije DMV po metodi LIDIC vsebuje štiri korake, in sicer:

- interpolacija predhodnega DMV za določitev interpolacijskih intervalov,
- interpolacija posameznih intervalov,
- ekstrapolacija vrhov in dnov vrtač,
- (rahlo) glajenje.

Predhodni DMV je treba interpolirati s čim bolj enostavno točno metodo (npr. SIFI), s katero se da določiti *interpolacijske intervale*. Sledi izboljšanje območij intervalov z nekaj metodami na območjih nepopolnih plastnic. Nato so izračunane stroškovne ploskve med posameznimi intervali, in sicer neodvisno z zgornje plastnice navzdol in s spodnje navzgor. Če v interpolacijskem intervalu obstaja morebitna vmesna plastnica ali točka, se posebej izračuna oddaljenost navzgor in navzdol tudi od nje. Empirično sem ugotovil, da je utežno vrednost pomožne plastnice smiselno povečati za približno 15 %. Nadmorska višina je interpolirana z izračunom utežne sredine in upoštevanjem vrednosti uteži posameznih razdalj (stroškovnih ploskev), pri čemer se lahko upošteva tudi gladina jezer in morja (Jaakkola in Oksanen 2000)

$$H_j = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{cd_{ij}} H_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{cd_{ij}}} \qquad (4\text{-}1)$$

Pri tem so H_j točke z iskano, interpolirano višino, H_i pa so nadmorske višine pripadajočih plastnic ali obal jezer in morij, cd_{ij} so H_j pripadajoče stroškovne ploskve, izračunane iz H_i, ter n število posameznih višin H_i, izračunanih iz cd_{ij}. Interpolacijo je treba nadaljevati na naslednjih (sosednjih) intervalih vse do zadnjega in jih sestaviti v enoten sloj. Sledi *ekstrapolacija vrhov in dnov vrtač* ter *glajenje* ploskve modela (glej razdelek 4.4.6).

Z metodo LIDIC je izdelava DMV iz nepretrganih in pravilno zajetih plastnic ter na geomorfološko pretežno enakomerno razgibanem površju relativno enostavna in zelo učinkovita. V primeru uporabe obstoječih virov plastnic za testna območja Slovenije pa sem uspešno rešil naslednje večje probleme:

- optimalna določitev interpolacijskega intervala med dvema plastnicama ter območij vrhov in vrtač na območjih pretrganih plastnic,
- določitev vpliva pomožnih plastnic na neenakomerno razgibanem površju,
- ekstrapolacija vrhov in dnov vrtač na različno razgibanem površju.

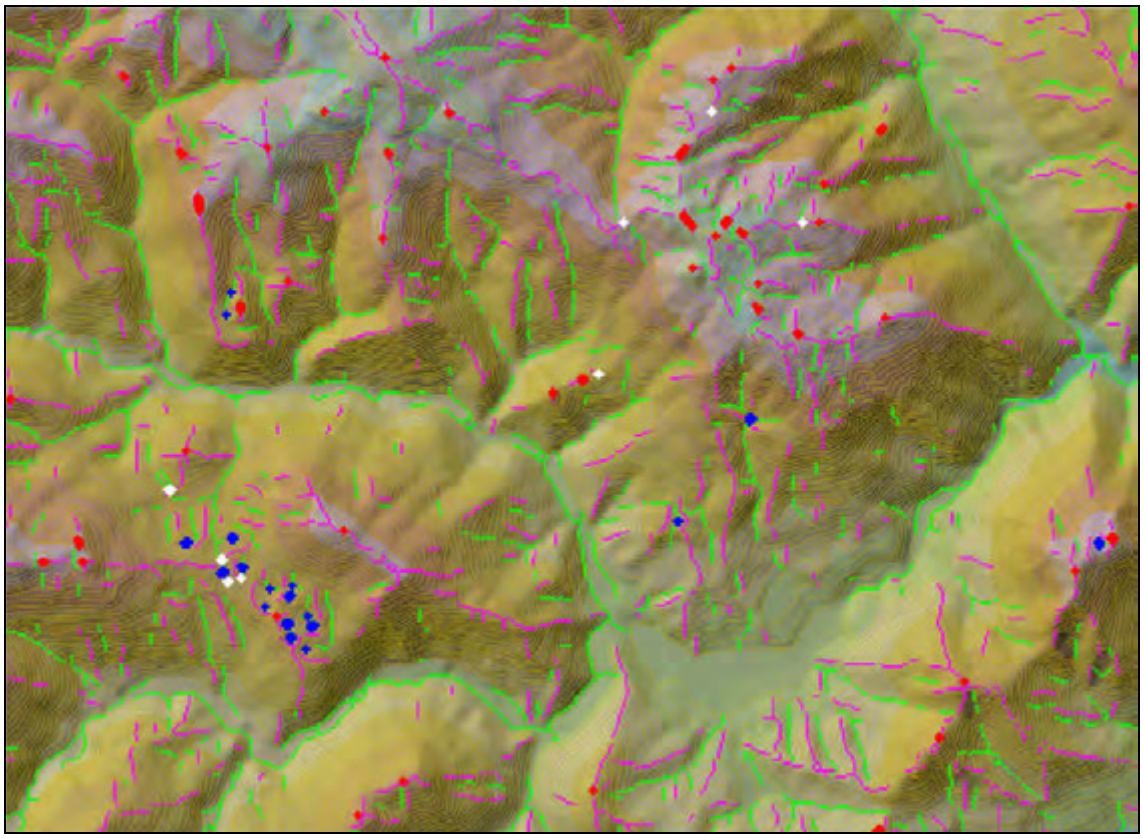
Slabša stran metode LIDIC je predvsem relativna počasnost algoritma, paziti pa je treba tudi na primere, pri katerih se v posameznem intervalu pojavijo pomožne plastnice z več kot eno kategorijo nadmorskih višin. Za slovenske razmere je problem rešljiv z zmanjšanjem intervala ali pa z drugačno metodo upoštevanja pomožnih plastnic (npr. z lokalnimi popravki reliefa na obravnavanem intervalu glede na razliko med višinama predhodno interpoliranega sloja brez upoštevanja pomožnih plastnic). Paziti je tudi treba, da so območja vrtač ali vrhov sklenjena. Izvorna koda za interpolacijo LIDIC ni dostopna, zato sem jo sprogramiral sam.

Na kratko velja opisati še interpolacijo po metodi *SIFI* (angl. simple iterative filtering interpolation). Pri tej metodi se najprej zapolni območja med rastriranimi plastnicami, in sicer po metodi dodelitve vrednosti glede na bližino izvora (enako kot s Thiessenovimi poligoni). Nato tako dobljen sloj s približno 40-kratno ponovitvijo iterativno zgladimo z nizkopropustnim filtrom.

Analogija selektivnega vzorčenja

Metod, analognih selektivnemu vzorčenju pri uporabi plastnic na osnovi celične mreže, praktično ni. Nekatere dele značilnih črt in točk se da pridobiti po metodi LIDIC (Oksanen in Jaakkola 2000), vendar taki elementi načeloma pri interpolaciji plastnic niso zanimivi, saj so vsebovani v sami strukturi zapisa DMV, poleg tega pa niso popolni. Kljub vsemu je možno iz rastriranih plastnic izračunati značilne točke in črte. Osnovni koraki algoritma za iskanje značilnih točk, ki ga predlagam, so naslednji:

- iskanje in označitev značilnih območij točk (vrhov, vrtač in sedel) na več načinov ob pomoči interpolacije plastnic z metodo SIFI;
- določitev lege značilnih točk znotraj značilnih območij z iskanjem točke (ali več) po metodi največje oddaljenosti od najbližjih (sklenjenih) plastnic;
- določitev nadmorskih višin značilnim točkam (različni kriteriji za vrhove in dna vrtač) pri upoštevanju naklona bližnje okolice ter ekvidistance plastnic;
- pretvorba značilnih točk z višinami v vektorsko strukturo z oznakami za vrhove (1) in dna vrtač (–1) ter pripis vrednosti nadmorskih višin H;
- označitev bližnje okolice značilnih točk oz. sosednjih mrežnih celic za regionalizacijo RO (razdelek 5.2.1.2).



Slika 16: Samodejno ustvarjene značilne točke (vrhovi – rdeče, vrtače – modro, sedla – belo) in črte (grebeni – vijolično, doline – zeleno) iz celične mreže na osnovi plastnic GKB–reliefa za testno območje Polhovega Gradca /9/ (5000 krat 3700 m).

Prednost opisanega algoritma je v tem, da so kot značilni vrhovi in vrtače označena le območja, ki so bila kartirana s plastnicami. Algoritem za iskanje značilnih črt, ki ga predlagam, pa je naslednji:

- iskanje in označitev značilnih črt (grebenov, dolin) glede na ploskev reliefa, interpolirano z metodo SIFI (kar je nekoliko presenetljivo) in LIDIC (območja vrhov in grebenov);
- enostaven uveljavljen izračun in določitev značilnih črt z lokalnim oknom;
- izločanje značilnih črt na območjih ravnin ter na goratih območjih, kjer ni digitaliziranih plastnic;
- označitev bližnje okolice značilnih točk oz. sosednjih mrežnih celic za regionalizacijo RO;
- linearna interpolacija značilnih črt (vse v rastrski strukturi) med posameznimi plastnicami, pri čemer si pomagamo z metodo SIFI; interpolacija poteka le po črtah, s čimer se uteži popolnoma drugače razporedijo, kot če bi interpolirali celotna območja med plastnicami;
- izločanje tistih delov značilnih črt, za katere se izkaže, da so vodoravne (kar bi pomenilo ekstrapolacijo, ki je pa ne želimo izvajati);
- utežno seštevanje nadmorskih višin DMV, predhodno izračunanega po metodi LIDIC in linearno interpoliranih značilnih črt z dodelitvijo uteži po empirično določenem razmerju 1 : 3 za grebene in 1 : 4 za doline (ki so ponavadi ožje);

- pretvorba značilnih črt brez atributov višin v vektorsko obliko z oznakami grebenov (2) in dolin (–2).

Prednost opisanega algoritma je v tem, da dobimo zaradi učinkovite točne interpolacije med plastnicami zelo pravilne poteke značilnih črt. Poleg tega dobimo posebej izločene višine, ki jih lahko uporabimo pri nadaljnji interpolaciji DMR. Z opisanim postopkom še dodatno izboljšamo geomorfološke lastnosti DMV, izdelanega po metodi LIDIC. Pri tem velja omeniti tudi metodo iskanja značilnih črt reliefa pri upoštevanju (največje) ukrivljenosti vektorskih plastnic (Hutchinson 1988). V primeru iskanja značilnih točk in črt reliefa na geomorfološko ne preveč kakovostno izdelanem DMR bi bila uporabna metoda, podobna Houghovi transformaciji iz leta 1962 (Baudemont in Parrot 2000), ki se dobro prilagajanja naravi DMR. Houghova transformacija se sicer uporablja za prepoznavanje črt, krogov in elips na rastrskih slikah ter je zelo neobčutljiva na manjše nepravilnosti.

Na sliki 16 je prikazan skelet reliefa, izdelan z algoritmom na osnovi celične mreže glede na plastnice GKB-reliefa. Prikaz obsega del testnega območja Polhovega Gradca /9/. Vrhovi so označeni z rdečimi križci, vrtače z modrimi in sedla z belimi, medtem ko so grebeni obarvani vijolično in doline zeleno. Grebene in doline se da enostavno prikazati tudi kot vektorske črte. Vidi se, da se skelet reliefa kljub relativno blago izraženim značilnostim lepo ujema z dejanskimi plastnicami. Pomanjkljivost pri metodah na osnovi celične mreže je, da bi morala biti ločljivost za še bolj natančne rezultate povečana z 10 na 5 m (pri obravnavanem merilu 1 : 25.000). S še večjo ločljivostjo od navedene pa bi dosegli spet slabše rezultate. Podobno pripravljen sloj skeleta uporabimo tudi za regionalizacijo na značilna območja RO (dodatek B.1.5).

4.4.4 Izboljšanje s hidrološkimi analizami

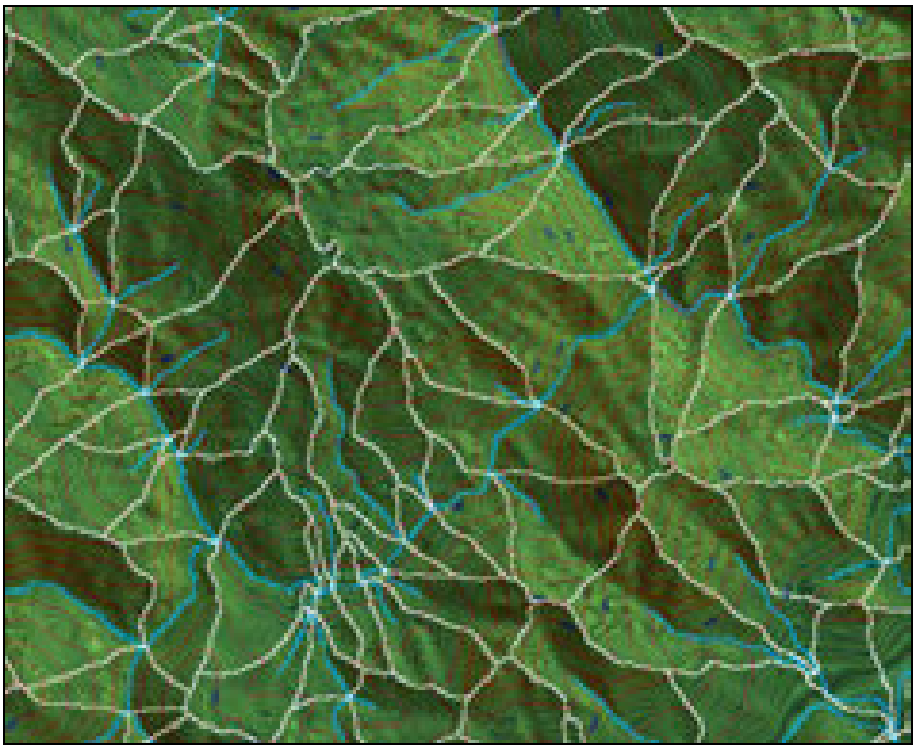
Dodatno geomorfološko izboljšanje ploskve DMR omogočajo hidrološke analize, in sicer s tem, da:

- tečejo vodotoki vedno le navzdol,
- so površine stoječih voda ravne,
- ni lažnih vrtač, ki pogosto nastanejo pri interpolaciji.

Hidrološke izboljšave in kontrole DMR lahko izvajamo na več ravneh:

- samodejno ustvarjanje hidrološke mreže iz DMR z izboljšavami DMR z zapolnjevanjem lažnih vrtač in nižanja DMR tako, da voda teče vedno navzdol (Rieger 1992); izdelava značilnih črt in njihovo upoštevanje pri končni izdelavi DMR (slika 17);
- izdelava DMR z vključevanjem kartografskih podatkov vodotokov, ki morajo biti usmerjeni navzdol (Hutchinson 1989); lahko jih vključimo v celično mrežo, TIN ali hibridno strukturo DMR;
- kombinacija obeh prejšnjih pristopov; sledi jima lahko vizualna ali statistična primerjava samodejno ustvarjene rečne mreže iz DMR z rečno mrežo iz kartografskega gradiva; vizualno ugotovljena odstopanja lahko izboljšamo ročno, statistično ugotovljene napake (npr. glede na oddaljenost med obema vodotokoma) pa lahko odpravimo samodejno.

Zadnja raven je najučinkovitejša, saj pridobimo z njo nadmorske višine značilnih črt obstoječe hidrološke mreže iz kartografskega gradiva ter izboljšamo položajno kakovost. V nadaljevanju opisujemo postopek za izboljšavo hidrološke mreže s primerom uporabe sloja GKB-hidrografije. Podoben postopek bi lahko izvajali tudi za hidrološke podatke iz TTN 5. Navadno se izvaja hidrološke analize na rastrskih slojih.



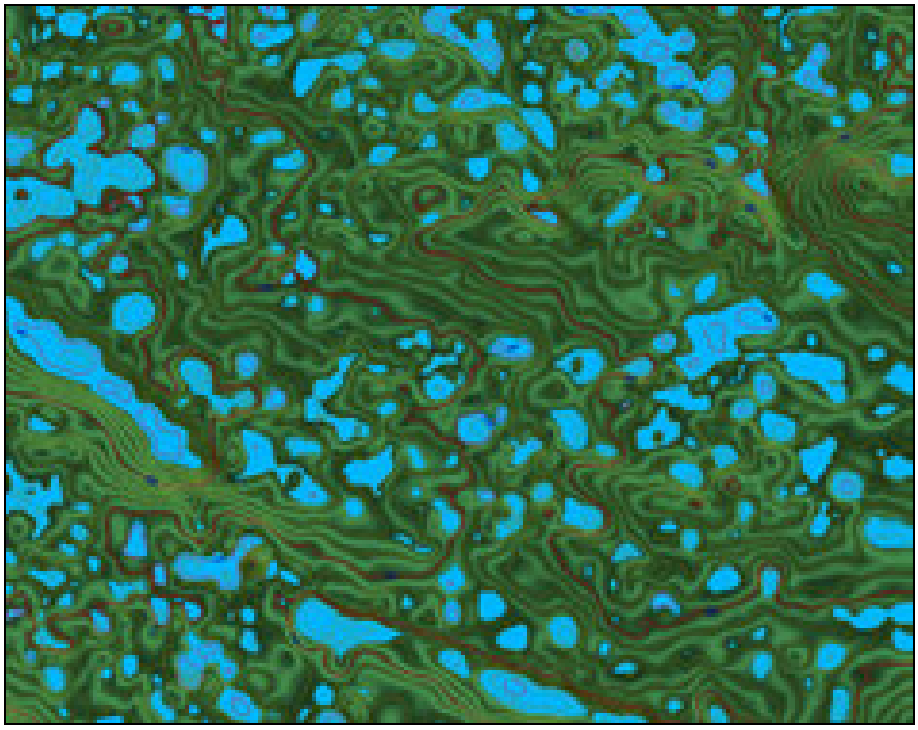
Slika 17: Samodejno ustvarjanje hidrološke mreže (modro) ter odgovarjajočih grebenov (belo) s popravki reliefa za del Polhograjskega hribovja (uporaba SCOP.MATRIX).

Za samodejno ustvarjanje hidrološke mreže iz celične mreže (DMV) se uporablja več metod, ki se bistveno ne razlikujejo (glej Goodchild in Kemp 1990; Rieger 1992; Burrough in McDonnell 1998, 193; *Arc/Info* 1998; Martínez-Casasnovas 1998; Garbrecht in Martz 1999; Di Luzio in Srinivasan 1999; Gajski 2000). Za vsako mrežno celico se izračuna smer odtoka vode glede na sosednje celice ter količina vode, ki priteče (odteče) na določeno celico (akumulacija). Pri tem je uspešnost hidrološke analize odvisna tudi od izbire ločljivosti celične mreže.

Za ustvarjanje hidrološke mreže moramo najti primerno mesto, kjer naj bi bil izvir reke. Točka izvira je odvisna tudi od kritične površine vodoprispevnega območja ter od privzete najmanjše dovoljene dolžine vodotoka. Ta točka je pogosto na strmih območjih. Oba parametra je treba smiselno upoštevati glede na geološke, pedološke, geomorfološke in druge značilnosti reliefa (Rieger 1992). Dobljeno rastrsko hidrološko mrežo pretvorimo v vektorsko obliko, pri čemer mora biti usmerjena navzdol. Pri določanju točk izvirov si lahko pomagamo tudi s črtami rek iz obstoječega kartografskega gradiva (GKB-hidrografija), pri čemer primerjamo podobnost s samodejno izdelano rečno mrežo (Martínez-Casasnovas 1998; *Arc/Info* 1998).

Pred samodejnim ustvarjanjem hidrološke mreže moramo odstraniti lažne vrtače (slika 18). Da po pomoti ne zapolnimo dejanskih vrtač, si lahko pomagamo s samodejno pri-

merjavo z znanimi vrtačami, ki jih najlažje pridobimo iz kartografskega gradiva. Lahko pa si pomagamo tudi s pragom, ki določa, do katere globine so vrtače lažne in od katere naprej ne (*Arc/Info* 1998). Nekatere metode omogočajo odstranjevanje lažnih vrtač neposredno med interpolacijo pri upoštevanju rečne mreže (Hutchinson 1988), vendar ne dajejo vedno zadovoljivih rezultatov (Burrough in McDonnell 1998, 195). Glede na naravo nastanka lažnih vrtač ne zadošča vedno samo njihova zapolnitev, temveč tudi nižanje najnižjih robov vrtač (Martz in Garbrecht 1999).



Slika 18: Prikaz območij vrtač (modro) glede na DMV, prikazan s tehniko bipolarnega diferenciranja za manjše kraško območje. Čez so položene samodejno ustvarjene plastnice (rdeče) v programu SCOP, z ekvidistanco 25 m.

S hidrološko mrežo, dobljeno po opisanih postopkih, lahko z ročnimi metodami ali samodejno popravimo prvotno mrežo, pridobljeno iz kartografskega gradiva (GKB-hidrografija). Koristno jo je primerjati tudi z drugimi kartografskimi podatki, npr. s plastnicami ter z ortofotom. Pri tem podatke obstoječe hidrološke mreže iz kartografskega gradiva popravimo in pripravimo tako, da so vodotoki vedno usmerjeni navzdol (*Arc/Info* 1998), in sicer tudi v primeru, če teče vodotok skozi jezero. Jezero mora biti v tem primeru ravno ali pa, hidrološko pravilneje, minimalno (neopazno) nagnjeno proti iztoku (Rieger 1992). Metode usmerjanja so navadno polsamodejne. Dodatnemu delu se lahko izognemo z zajemom podatkov v pravilnem vrstnem redu. Podobne postopke uporabljamo pri mrežnih analizah.

Popravljeno hidrološko mrežo iz kartografskega gradiva ali pa samodejno ustvarjeno hidrološko mrežo uporabimo v naslednji fazi za izboljšanje DMR. K izboljšanju s hidrološkimi analizami sodijo tudi druge metode hidrološke kontrole kakovosti virov in DMR, ki so navedene v razdelku 4.5.3. Praktični primer je v razdelku 5.3.2.5.

4.4.5 Metode za prevzorčenje podatkov

Ploskev reliefa predstavimo kot DMV s postopkom rastriranja točk v celično mrežo. Da imamo lahko DMV zapisan tako kot želimo, moramo oz. je tudi koristno v nekaterih primerih uporabiti t. i. metode za prevzorčenje. Pri tem izvajamo naslednje naloge:

- pretvorba celičnih mrež pri spreminjanju DMV iz manjše v večjo ločljivost, do največ dvakratne razlike ločljivosti; prevzorčenje iz večje v manjšo ločljivost in s tem samodejna generalizacija ploskve (Rihtaršič 1992a, 101);
- pretvorba dane celične mreže iz enega koordinatnega sistema v drugega; geokodiranje; popravki geometrije ploskve;
- interpolacija raztresenih točk v celično mrežo.

Na splošno lahko poteka postopek prevzorčenja brez interpolacije. Če želimo pri prevzorčenju DMV ohraniti geomorfološke značilnosti, potem je nujna tudi interpolacija. Pri postopku prevzorčenja DMV uporabimo največkrat eno izmed mnogih lokalnih metod interpolacije (glej Press et al. 1995; Fogel 1996; Doytsher in Hall 1997; Burrough in McDonnell 1998, 128). V praksi so se najbolj uveljavile naslednje metode prevzorčenja (ERDAS 1997):

- metoda najbližjega soseda (angl. nearest neighbour),
- metoda bilinearne interpolacije (angl. bilinear interpolation) in
- metoda kubične konvolucije (angl. cubic convolution).

Metoda *najbližjega soseda* ne uporablja interpolacij, temveč pripiše posamezni na novo določeni mrežni celici tisto vrednost, ki je najbližja njeni centralni točki (Burrough in McDonnell 1998, 128). Uporablja se predvsem za nezvezne ali kvalitativne vrednosti, torej za nominalne in ordinalne vrednosti podatkov. Primer je prevzorčenje podatkovnih slojev gozdov, naselij ali drugih površin, pri katerih želimo ohraniti obstoječe kategorije. Za prevzorčenje zveznih slojev, npr. za DMV, se obravnavana metoda ne uporablja, saj dobimo pri pretvorbi iz večje ločljivosti v manjšo »stopničasto« ploskev, pri obratni pretvorbi pa prav tako nenatančne podatke. Po drugi strani se pri takem prevzorčenju zveznih slojev ohranijo ekstremne vrednosti.

Metoda *bilinearne interpolacije* uporablja za prevzorčenje štiri najbližje sosede (Press et al. 1995, 123). Predstavlja najenostavnejši primer polinomske interpolacije (4-členska), pri čemer so zapletenejše bikvadratne in bikubične (Berk 1997). Postopek poteka tako, da se linearno interpolira vrednosti med obema paroma točk v smeri y, nato pa še linearno med obema dobljenima točkama v smeri x (v dveh /bi-/ smereh torej). Na ta način dobimo utežno sredino štirih sosednjih točk. Bilinearna interpolacija je pravzaprav nizkofrekvenčna konvolucijska metoda. Primerna je za prevzorčenje zveznih vrednosti pri čemer se izgubijo ekstremne vrednosti, ploskev pa ostane gladka. Prostorska natančnost te metode je večja kot pri metodi najbližjega soseda.

Metoda *kubične konvolucije* je podobna bilinearni interpolaciji. Prevzorčena vrednost se izračuna z upoštevanjem 16 najbližjih sosedov. Interpolacijska funkcija ni linearna, temveč kubična. Metoda je v večini primerov bolj natančna kot prvi dve, predvsem ko želimo pri prevzorčenju zveznih slojev tudi znatno spremeniti ločljivost. Problem te metode je, da dobimo v nekaterih primerih kljub gladkosti preveč izrazite ekstremne vrednosti s prevelikimi nihanji.

Metodi bilinearne interpolacije in kubične konvolucije sta primerni za prevzorčenje DMV. V večini praktičnih primerov zadostuje ali pa je celo najprimernejša metoda bilinearne interpolacije. Primer uporabe bilinearne interpolacije je izdelava DMR 25 iz DMR 40 (Oven 1996). Kubična konvolucija pa je bila uporabljena pri prevzorčenju celične mreže na osnovi InSAR DMV 25 pri izdelavi InSAR DMV 100 za GU (Stančič et al. 2000b). V slednjem primeru gre za prevzorčenje med dvema zelo različnima ločljivostima, iz celične mreže 25 krat 25 m v precej manjšo ločljivost 100 krat 100 m. S kubično konvolucijo dobimo gladko ploskev, ki ohranja geomorfološke značilnosti ter pri tem upošteva vse prvotne točke. Metoda deluje v tem primeru kot nekakšna utežna metoda najbližjega soseda. Za izdelavo InSAR DMV 100 smo postavili naslednje kriterije, ki so univerzalni za podobne primere:

- ploskev celične mreže mora ostati čim bolj gladka (ne sme postati »stopničasta« ali »terasasta«),
- vsaka mrežna celica naj čim bolje opisuje povprečno nadmorsko višino reliefa na njenem območju,
- geomorfološke značilnosti površja naj ostanejo čim bolj zaznavne.

Za geomorfološko še boljše prevzorčenje DMV je treba upoštevati tudi skelet reliefa, predvsem značilne črte grebenov in rek ter točke vrhov in vrtač. S pripisom povprečne višine reliefa ali vodotoka prevzorčeni mrežni celici (Longley et al. 2001, 153) in upoštevanjem višin vrhov, dobimo boljši rezultat.

Metodi bilinearne interpolacije in kubične konvolucije sta lahko uporabni tudi v procesu izdelave DMR iz podatkov različne kakovosti. Pri interpolacijah, ki jih uporabljata npr. programa SCOP in Topogrid, se lahko kljub učinkoviti predobdelavi pojavi preveliko »nihanje« ploskve DMR s preveč lažnimi vrhovi in vrtačami. S poskusi sem ugotovil, da je v nekaterih primerih z metodami SCOP in Topogrid smiselno interpolirati DMR na dvakrat večjo ločljivost od končne. Nato jo z bilinearno interpolacijo zmanjšamo na končno. S takim postopkom izkoriščamo prednosti več interpolacijskih metod. Opisan postopek (generalizacije) da boljši rezultat kot npr. nizkopropustni filtri (razdelek 4.4.6) ter omogoča homogenizacijo DMR. Za še boljšo tovrstno generalizacijo je koristno uporabiti kar kartografska pravila. Če imamo torej poleg celične mreže na razpolago tudi značilne črte reliefa, potem je treba najprej generalizirati območja teh črt in glede na njih še preostala območja DMR (Weibel 1989).

Z opisanimi metodami prevzorčenja točk lahko v skladu z empiričnimi pravili interpoliramo do največ dvakratnega povečanja ločljivosti. V primeru večjega povečevanja ločljivosti, kar pride v poštev pri vizualizacijah ali kombiniranju več zveznih slojev podatkov, je smiselno uporabiti čim bolj točno metodo interpolacije za raztresene točke. V tem primeru lahko uporabimo interpolacijo 's premikajočo se ravnino' ali z zlepki. Pri interpolaciji z zlepki je smiselno uporabiti relativno majhno utež, s čimer dobimo gladko, ne pa stopničaste ploskve.

4.4.6 Glajenje ploskve DMR

Metode glajenja ploskve DMR se uporabljajo za izboljšanje kakovosti. Z glajenjem omilimo majhne napake (šume), predvsem vizualno opaznih geomorfoloških nepravilnosti, ki so posledica nekaterih metod interpolacij ali spajanja posameznih območij slojev v celoto. Glajenje je torej v veliki meri odvisno od subjektivne ocene, ki jo pogosto izdelamo glede na opazovanje senčenega reliefa. V nekaterih primerih pa kar interpola-

cijske metode vsebujejo glajenje (razdelka 4.4.2.1 in 4.4.2.2). Taka glajenja so relativno zapletena in upoštevajo naravo interpolacije. Interpolacijo se tako predvsem v omenjenih primerih pojmuje kot poseben razred prostorskega filtriranja podatkov (Burrough in McDonnell 1998, 186).

O potrebi po glajenju pove precej histogram DMR. Če ima preveč »skokov«, ki so pogosto posledica točnih metod interpolacije, potem jih je treba odpraviti (Podobnikar 1995b, 48; razdelek 5.5.1). Teoretična rešitev problema je v avtokorelaciji, ki predpostavlja, da so si sosednje nadmorske višine med seboj podobne. Pri ploskvah, podanih s celično mrežo, uporabimo za filtriranje nizkopropustni filter (Gaussov filter, medianafilter ali filter premikajočega se povprečenja; Stančič 1992; Podobnikar 1995b, 46; Kvamme et al. 1997, 120, 141; Burrough in McDonnell 1998, 186; Hutchinson in Gallant 1998, 113). Takšno glajenje odstrani nekatere nepravilnosti reliefa brez posebnih analiz.

Posledica glajenja je zmanjšanje prvotne razgibanosti površja. S tem izgubljamo tudi značilnosti površja, kot so vrhovi, vrtače, doline in grebeni. Omenjene probleme se da reševati z maskiranjem ali z umetno inteligenco, ki bi take značilnosti obvarovala pred glajenjem (Kvamme et al. 1997, 122). Lahko pa zaznavamo take značilnosti z enostavno metodo odkrivanja robov pri uporabi visokopropustnega filtra.

4.4.7 Mozaičenje slojev

Pri mozaičenju slojev z delnim prekrivanjem gre za čim bolj »brezšivno« spajanje posameznih delov ploskve DMR v celoto. Najenostavneje spajamo dele celičnih mrež enake ločljivosti. Celične mreže različne ločljivosti je treba pred spajanjem pretvoriti na isto ločljivost in izhodišče. Mozaičenje izvajamo pri združevanju delnih slojev DMR, izdelanih po posameznih območjih. Več delov takih ploskev lahko dobimo iz nuje po obdelavi DMR v več kosih zaradi premajhne zmogljivosti interpolacijskega programa. Lahko gre tudi za sestavljanje delov, obdelanih na različne načine v celoto, npr. pri glajenju DMR brez vrhov in drugih značilnosti, ki jih potem spojimo posebej. Gre pa lahko tudi za spajanje različnih kosov DMR iz podatkov različne kakovosti ali ločljivosti, pri čemer moramo podatke tudi prevzorčiti.

Prehodi med posameznimi prvotnimi robovi območij morajo biti po mozaičenju neopazni, torej mora ploskev ostati primerno gladka. Statistična natančnost dobljenega DMR se pri tem postopku ne sme bistveno poslabšati, geomorfološka pa v celoti izboljšati. Poleg tega se izboljšajo tudi morebitne podrobnosti izdelkov DMR, kot npr. nakloni površja (*GTOPO30* 2000). Spajanje slojev je v vsakem primeru precej lepše, če se med seboj deloma prekrivajo. V tem primeru lahko prekrivajoče se robove med seboj gladko združimo z določeno funkcijo. Najlažje je tako nalogo izpeljati v primeru, da so prekrivajoči se robovi pravilne oblike, kar podpira standardna programska oprema GIS, nekoliko bolj zahtevno pa je za območja nepravilnih oblik. Prednost gladkega spajanja slojev je tudi v tem, da zaradi izničenja robov odpade dodatno glajenje slojev.

Najprej si oglejmo možnost spajanja z *enostavnim mozaičenjem*, pri čemer sloje enostavno, brez glajenja pri prekrivanju, zlagamo v celoto. Po omenjenem načelu deluje metoda LIDIC (spajanje posameznih interpoliranih intervalov), podobno pa so sestavili tudi globalni DMV GTOPO30/GLOBE. Splošno pravilo je, da uporabljamo enostavno spajanje le v primerih, ko so podatki dovolj homogeni ter se na robovih bistveno ne razlikujejo. Kadar imamo za neko območje na razpolago sloje različne kakovosti in pros-

torske razprostranjenosti ter da želimo uporabiti najboljše možne podatke brez spreminjanj, lahko posamezne sloje spajamo z vnaprej določeno prioriteto prekrivanja brez glajenja robov. V nekaterih primerih spajanj slojev pomaga tudi naknadno obrezovanje vseh slojev tako, da jih potem na stičnih črtah enostavno zložimo skupaj. Taka metoda je uporabna predvsem v primeru širokega pasu prekrivanja slojev ter pri uporabi istih podatkov za interpolacijo.

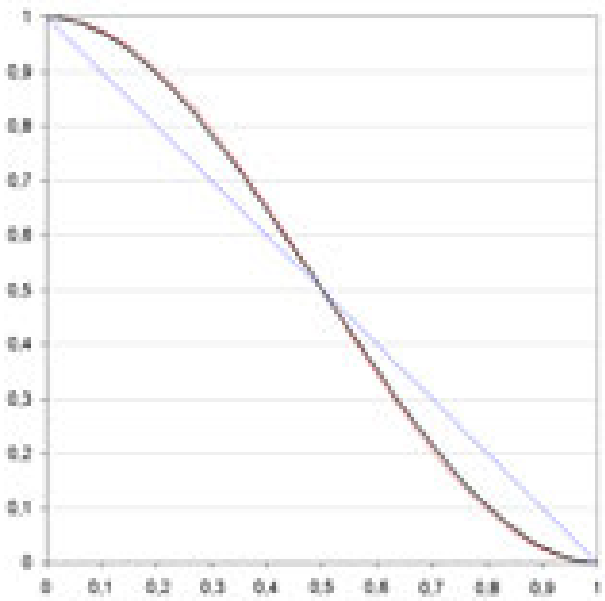
S primerno metodo glajenja lahko spoje slojev naknadno popravimo (razdelek 4.4.6). Podmožnost enostavnega spajanja je »transparentno« prekrivanje slojev med seboj pri upoštevanju sloja z določenimi utežmi (glej razdelek 5.4.2.2). S tem smo prešli na metode *mehkega mozaičenja*. Problem lahko rešujemo tudi s funkcijami, ki slonijo na utežnem povprečenju. Glede na izkušnje se dobro obnesejo funkcije zlepkov, ki imajo to lastnost, da se konca obeh delov krivulje zvezno in gladko spojita s pripadajočima krivuljama. Torej imata na obeh koncih odvod enak 0. Dober zlepek za take primere je kubični Hermitov poligon, ki ga opišemo s formulo (*Arc/Info* 1998)

$$H_3(x) = 1 - 3x^2 + 2x^3 \tag{4-2}$$

Pri tem je x normalizirana razdalja območja prekrivanja med slojema na intervalu (pasu) [0, 1]. Če označimo torej sloja DMR, ki ju želimo spojiti z A in B, potem dobimo sloj C po formuli

$$C = A \cdot H_3 + B(1 - H_3) \tag{4-3}$$

Na sliki 19 je s črno barvo označena funkcija Hermitovega poligona H_3, v rdeči je kot alternativna krivulja sinusoide, normalizirana s formulo $f_1(x) = (1 + \cos(\pi \cdot x))/2$. Za primerjavo je z modro prikazana linearna funkcija $f_2(x) = 1 - x$, ki ni primerna za spajanje slojev.



Slika 19: Funkcije za spajanje slojev. Hermitov poligon (črno), normalizirana sinusoida (rdeče) in linearna funkcija (modro).

Pri mehkem mozaičenju je treba določiti optimalno širino pasu prekrivanja sosednjih slojev. Velja splošno izkustveno pravilo, da se z večanjem medsebojne nehomogenosti in neujemanja podatkov, sloje bolj prekriva. Pri zelo veliki podobnosti je smiselno sloje DMR prekriti za dve mrežni celici (*SCOP* 1995, 17), pri majhni podobnosti pa za od 25 do 100 mrežnih celic. Felus in Csatho (2000) predlagata empirično določitev širine pasu prekrivanja z vrednostjo 10-kratne variance, torej glede na statistično dobljene razlike med prekritima deloma. Opozoriti velja, da je treba v primeru predhodne obdelave DMR po območjih, robove deloma obrezati v odvisnosti od uporabljene metode in gostote podatkov.

Predvsem v primerih, ko sta obravnavana sloja medsebojno precej nehomogena, ju lahko skupaj (še enkrat) interpoliramo pod istimi pogoji (Felus in Csatho 2000). Pred tem na območju prekrivanja odstranimo vse podatke obeh slojev. S tem dobimo pas brez podatkov, lep in gladek prehod med slojema ter zvezen DMR. Kakovost takega DMR je nekoliko slabša od mehkega mozaičenja s prekrivanjem slojev.

4.4.8 Umeščenost ploskve DMR v koordinatni sistem

Površje Zemlje, ki ga vidimo neposredno, imenujemo fizično površje ali relief. Na njem ležijo točke, objekti ali pojavi, ki jih merimo in jim določamo položaj v prostoru. Fizično površje Zemlje je matematično zelo težko opredeliti oz. opisati, kljub vsemu pa poskušamo najti matematično obvladljivo, pravilno referenčno ploskev, ki se kar najbolje prilega obliki in velikosti Zemlje v celoti ali na omejenem območju. Za natančno določitev položaja na Zemlji potrebujemo tudi koordinatni sistem. Vse to je kompleksna naloga, v katero so vključene astronomija, geodezija, geofizika, kartografija in druge sorodne vede.

Ta razdelek opisuje problematiko zapisa podatkov v referenčni koordinatni sistem kot dodatnega opisa ploskve reliefa. Različne vire za izdelavo DMR je treba po možnosti pretvoriti v enotni koordinatni sistem v horizontalnem in vertikalnem smislu. Pri tem je dobro poznati tudi problematiko natančnosti geodetskih mrež. Največ virov za izdelavo DMR je bilo neposredno merjenih v (lokalnem) slovenskem državnem koordinatnem sistemu (DKS), ki temelji na Besslovem elipsoidu 1841. Nekateri viri, npr. InSAR DMV 25, imajo izvor v satelitskih posnetkih, pri katerih so podatki podani v lokalnih koordinatah, absolutne vrednosti višin pa je treba šele določiti z geokodiranjem. Meritve z vedno bolj zanesljivo, dostopno ter uporabno tehnologijo GPS pa se izvajajo v globalnem koordinatnem sistemu, ki temelji na elipsoidu WGS84.

Če želimo biti v Sloveniji učinkoviti pri izmenjavi podatkov s sosednjimi državami in svetom ter hkrati uporabljati nam pomembne podatke, ki jih imajo sosednje države (npr. podatke na mejnih območjih), moramo poznati parametre in reševati probleme, ki nastajajo pri transformaciji v globalni sistem. Pri tem se lahko zgodi, da bomo kmalu privzeli globalni koordinatni sistem za državnega. Tak sistem uporabljajo tudi članice Nata, in sicer skupaj s projekcijo UTM, ki je enaka kot naša državna Gauss-Krügerjeva, pri čemer se razlikujejo le vrednosti nekaterih parametrov. Gre torej za prihajajoče spremembe slovenskega koordinatnega sistema glede na evropske in svetovne standarde. Z globalizacijo koordinatnih sistemov bodo dobile vse točke na območju Slovenije (tudi tiste, ki so dostopne iz tujih zbirk podatkov) enolične koordinate. Navsezadnje pa gre tudi za možnost izdelave enotne evropske zbirke geografskih podatkov ter enotne projekcije za kartiranje Evrope (Annoni 2001a). Glede na nakazano problematiko navajamo teoretič-

na izhodišča, pojme, ideje in probleme slovenskega državnega koordinatnega ter globalnega sistema ter opis možnosti transformacije med njima.

4.4.8.1 Geoid, referenčni elipsoid in krogla ter geodetski datum

Pri terestričnih opazovanjih na fizičnem površju Zemlje igra pomembno vlogo njeno gravitacijsko polje. Predstavimo ga s poljem sil, s katerim Zemlja zaradi svoje mase privlači določeno točkasto telo s poljubnim položajem v prostoru. Gradient skalarnega polja predstavlja pospešek, ki ga gravitacijsko polje povzroči točkastemu masnemu telesu v njem, in ga imenujemo gravitacijski potencial. Zaradi vrtenja Zemlje okoli njene osi moramo upoštevati tudi centrifugalni potencial. Vsoto gravitacijskega in centrifugalnega potenciala imenujemo težnostni potencial Zemlje. Množico točk z enakim težnostnim potencialom imenujemo težnostna ekvipotencialna ploskev. Težnostna ekvipotencialna ploskev, ki predstavlja srednji nivo morja (gladine oceanov), podaljšan pod kontinente (ničelna nivojska ploskev), definira telo, imenovano *geoid* (Vaníček in Krakiwsky 1991).

V svetu so se začeli ukvarjati z gravimetrijo predvsem po drugi svetovni vojni, podobno pa velja tudi za ozemlje bivše Jugoslavije (Grašič 1974). Za Slovenijo je na GU na voljo interpolirana ploskev geoida za celotno Slovenijo s celično mrežo 5' krat 5'. Natančnost te ploskve je zaenkrat premajhna, da bi jo lahko uporabili za GPS-višinomerstvo. Poskusi z natančnejšo opredelitvijo ploskve so bili izvedeni le za območje Krasa (Kuhar 1998).

Ker je oblika geoida preveč zapletena, da bi ji bili kos z matematičnimi prijemi, jo v geodeziji aproksimiramo z matematično opredeljivo ploskvijo, kot sta referenčni elipsoid ali krogla. Referenčno kroglo uporabljamo predvsem za geokodiranje podatkov, namenjenih za prikaze manjših meril, in je v disertaciji ne obravnavamo.

Za Zemljo kot celoto lahko definiramo srednji Zemljin elipsoid, imenovan tudi *geocentrični referenčni elipsoid*. Navadno je to dvoosni (rotacijski) elipsoid s središčem v težišču Zemlje, ki se najbolje prilega geoidu kot celoti. Povedano drugače: vsota kvadratov odstopanj geoida od iskanega elipsoida je minimalna (kot geoidna višina ali undulacija N_g, ki je višina geoida glede na iskani elipsoid). Elipsoid, ki najbolje aproksimira ploskev geoida na nekem območju (npr. državi), imenujemo *geodetski referenčni elipsoid*. Središčna točka takšnega elipsoida ni nujno v težišču Zemlje. Rotacijski elipsoid podamo s kanonično enačbo

$$\frac{X^2+Y^2}{a^2}+\frac{Z^2}{b^2}=1 \tag{4-4}$$

Omenjeni dvoosni elipsoid popolnoma definirata velika polos elipsoida a ter mala polos b. Izvedene enačbe, ki so pomembne pri praktičnem določanju parametrov elipsoida, so naslednje (Borčić 1976):

- prva (e) in druga (e') ekscentričnost meridianske elipse

$$e=\sqrt{\frac{a^2-b^2}{a^2}} \text{ in } e'=\sqrt{\frac{a^2-b^2}{b^2}} \tag{4-5}$$

- dolžina loka meridiana od ekvatorja do dane geografske širine – razdalja od ekvatorja (0) do presečišča geografske širine φ s srednjim meridianom cone

$$L_0^{\varphi} = \int_0^{\varphi} M_{\varphi} \cdot d\varphi$$

ali

$$L_0^{\varphi} \approx a \cdot \left(1 - e^2\right) \cdot \left(A \cdot \varphi - \frac{B \cdot \sin(2 \cdot \varphi)}{2} + \frac{C \cdot \sin(4 \cdot \varphi)}{4} - \right.$$
$$\left. - \frac{D \cdot \sin(6 \cdot \varphi)}{6} + \frac{E \cdot \sin(8 \cdot \varphi)}{8} - \frac{F \cdot \sin(10 \cdot \varphi)}{10} \right) \tag{4-6}$$

- kjer so vrednosti konstant A, B, C, D, E in F naslednje:

$$A \approx 1 + \frac{3}{4} \cdot e^2 + \frac{45}{64} \cdot e^4 + \frac{175}{256} \cdot e^6 + \frac{11025}{16384} \cdot e^8 + \frac{43659}{65536} \cdot e^{10}$$
$$B \approx \frac{3}{4} \cdot e^2 + \frac{15}{16} \cdot e^4 + \frac{525}{512} \cdot e^6 + \frac{2205}{2048} \cdot e^8 + \frac{72765}{65536} \cdot e^{10}$$
$$C \approx \frac{15}{64} \cdot e^4 + \frac{105}{256} \cdot e^6 + \frac{2205}{4096} \cdot e^8 + \frac{10395}{16384} \cdot e^{10} \tag{4-7}$$
$$D \approx \frac{35}{512} \cdot e^6 + \frac{315}{2048} \cdot e^8 + \frac{31185}{131072} \cdot e^{10}$$
$$E \approx \frac{315}{16384} \cdot e^8 + \frac{3465}{65536} \cdot e^{10}$$
$$F \approx \frac{693}{131072} \cdot e^{10}$$

Matematična določitev oblike Zemlje se nanaša na parametre referenčne ploskve (elipsoida) z njeno orientacijo v prostoru, ki je odvisna od *datuma*. *Geodetski datum*, pri katerem izhodišče koordinatnega sistema sovpada s težiščem Zemlje, imenujemo *absolutni* ali *geocentrični geodetski datum*. Pri tem mala polos pripadajočega rotacijskega elipsoida sovpada s trenutno, srednjo ali dogovorjeno rotacijsko osjo Zemlje. Če je položaj izhodišča koordinatnega sistema postavljen v poljubni položaj, govorimo o *relativnem* ali *astrogeodetskem datumu*, ki vsebuje:

- geografsko širino izhodiščne točke astrogeodetske mreže,
- geografsko dolžino izhodiščne točke astrogeodetske mreže,
- geodetsko (elipsoidno) višino izhodiščne točke astrogeodetske mreže in geoidno višino v tej točki,
- odklon navpičnice v izhodiščni točki astrogeodetske mreže v smeri geografskega meridiana,
- odklon navpičnice v izhodiščni točki astrogeodetske mreže v smeri I. vertikala,
- geodetski (Laplaceov) azimut ene izmed sosednjih točk astrogeodetske mreže,
- veliko polos izbranega rotacijskega elipsoida ter
- malo polos izbranega rotacijskega elipsoida.

Geodetski datum, ki vsebuje vse podatke, potrebne za določitev referenčnega koordinatnega sistema, imenujemo *popolni geodetski datum*. Vsebuje osem konstant, in sicer (*GG* 1986) tri za določitev položaja izhodišča koordinatnega sistema, tri za določitev

orientacije koordinatnega sistema ter dve za določitev oblike in razsežnosti rotacijskega elipsoida.

4.4.8.2 Temeljne geodetske mreže

Pred tem smo obravnavali prehod od fizičnega površja Zemlje na ustrezno referenčno ploskev. Umestitev izmerjenih točk in objektov na zemeljskem površju temelji na geodetskih mrežah. Natančnost geodetske mreže pogojuje tudi natančnosti določitve lege na zemeljskem površju. Geodetske mreže se navezujejo na koordinatni sistem (vertikalni in horizontalni), ki je definiran v razdelku 4.4.8.3. V tem razdelku so predstavljene lastnosti, uporabnost in vrste geodetskih mrež.

Geodetska mreža je povezan sistem geodetskih točk. Ločimo dva osnovna tipa (*GU* 2000):

- izmeritvene geodetske mreže in
- temeljne geodetske mreže.

Izmeritvene mreže so osnova za navezavo geodetskih meritev na državni koordinatni sistem, predvsem na območjih intenzivne rabe prostora. Uporabljamo jih za izmere detajlov pri izdelavi geodetskih načrtov. *Temeljne mreže* (angl. fundamental networks) so porazdeljene po vsej državi. Služijo za izdelavo geodetskih načrtov in kart ter seveda tudi DMR. Temeljne geodetske mreže delimo na (*RGU* 1981):

- vertikalne (višinske) temeljne geodetske mreže in
- horizontalne (položajne) temeljne geodetske mreže.

Ločimo lahko še gravimetrične temeljne mreže, ki se uporabljajo za določitev lege geoida glede na referenčni elipsoid, za zagotovitev predpisane natančnosti temeljnih horizontalnih in vertikalnih mrež ter za geološke raziskave.

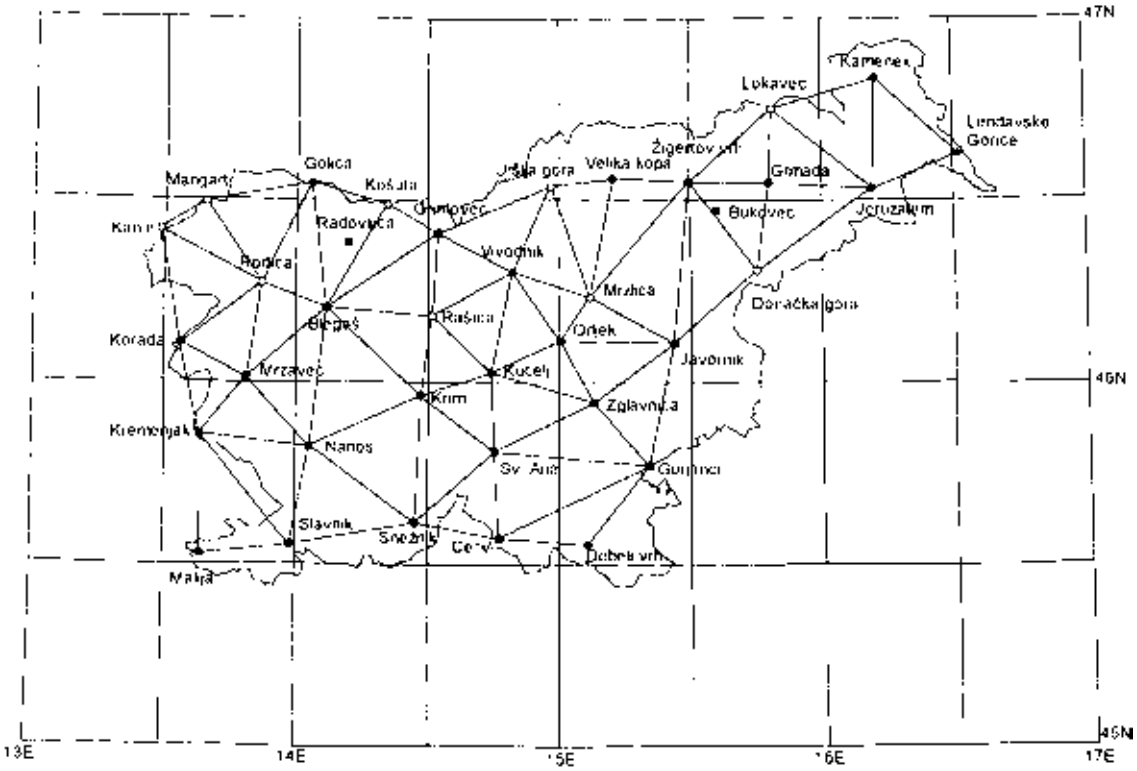
Vertikalne temeljne geodetske mreže

Delimo jih na mreže višjih in nižjih redov. Glede na običajno uporabljeno metodo merjenja jih imenujemo tudi *nivelmanske mreže*. Najvišji red predstavlja nivelmanska mreža velike natančnosti. V Sloveniji je 16 fundamentalnih reperjev. Izhodiščna točka vertikalnega sistema, ki določa vertikalni datum, je določena glede na srednji nivo morja.

Horizontalne mreže

Horizontalne mreže so ločene od vertikalnih. Delimo jih na trigonometrične, poligonometrične in navezovalne mreže. Najvišji red predstavlja trigonometrična mreža I. reda. V Sloveniji je 34 trigonometričnih točk I. reda (Stopar in Kuhar 1997). Koordinate točk horizontalnih geodetskih mrež so določene v državnem ravninskem koordinatnem sistemu (slika 20).

V horizontalnih geodetskih mrežah je datum definiran z obema koordinatama neke točke v mreži in s smerjo s te točke proti eni izmed sosednjih točk v mreži. Datum horizontalne geodetske mreže vključuje na splošno poleg navedenih konstant še celoten niz koordinat danih točk ter morebitnih danih smeri in dolžin v mreži, torej vseh konstantnih količin, ki nastopajo v funkcionalnem modelu izravnave mreže.



Slika 20: Astrogeodetska mreža Slovenije (Stopar in Kuhar 2000).

Mnoge točke temeljnih horizontalnih geodetskih mrež v Sloveniji imajo slabe (nenatančne in netočne) koordinate ali pa je določenih celo več parov koordinat, ki se nanašajo na različna obdobja določitve oz. na različne mreže, v sklopu katerih so bile točke določene. Večkrat ni povsem jasno, katere koordinate vzeti kot prave.

Poglejmo si slovensko astrogeodetsko mrežo, ki je vezana na lokalni, Besslov elipsoid iz leta 1841. Kot osnova za določanje točk horizontalnih geodetskih mrež so uporabljene točke I. reda triangulacije z geodetskim datumom iz leta 1948. Astrogeodetska mreža je bila izdelana v obliki dveh naslonjenih mrež, ki sta pokrivali Gorenjsko ter Primorsko z Istro. V vzhodni Sloveniji pa so koordinate trigonometričnih točk ostale praktično nespremenjene od leta 1901, ko so na dunajskem Vojaškogeografskem inštitutu izdali rezultate avstro-ogrske triangulacije. Leta 1963 so obnovili stabilizacijo temeljnih geodetskih točk. Kasneje so na beograjskem Vojaškogeografskem inštitutu napravili kakovostna kotna opazovanja v mreži I. reda, vendar rezultatov do razpada Jugoslavije niso objavili. Omeniti velja, da so leta 1952 dokončali sedanjo mrežo II. reda in nato leta 1967 še preostale rede triangulacije (Berk 1996).

Zaradi grobe napake določitve astronomske geografske dolžine fundamentalne točke, ki je bila uporabljena za orientacijo elipsoida v 19. stol., je nastal sistematski zamik slovenske mreže (Besslov elipsoid 1841) glede na globalni sistem (elipsoid WGS84). Ugotovljen je bil zamik za okoli 400 m v smeri osi *y* (proti vzhodu) in za okoli 30 m v smeri osi *x* (proti severu; Peterca et al. 1974). Zamik, podan v geografskih koordinatah z odstopanjem $\pm 1''$, je

$$\begin{aligned} \Delta\varphi &= \varphi_{DKS} - \varphi_{ETRS89} \approx 1'' \\ \Delta\lambda &= \lambda_{DKS} - \lambda_{ETRS89} \approx 17'' \end{aligned} \tag{4-8}$$

Slovenska geodezija se je problematike temeljnih horizontalnih geodetskih mrež aktivneje lotila v osemdesetih letih prejšnjega stoletja. Takrat so bile izvedene prve raziskave deformacij astrogeodetske mreže. Izmerjenih je bilo tudi mnogo geoidnih točk. Za sanacijo trigonometričnih točk nižjih redov so bile vpeljane navezovalne mreže, ki so vključevale tudi dolžinska opazovanja. Za posamezna območja mreže I. reda je bila z ekspertizami določena vrednost deformacije merila mreže (Jenko 1996). Rezultati ekspertiz so pokazali, da je treba sanacijo obstoječe horizontalne geodetske mreže izvesti globalno, in sicer z novo definicijo datuma osnovne državne mreže ter novo definicijo koordinatnega sistema (Mišković 1995).

Izvedbo kakovostne sanacije mreže omogoča tehnologija GPS. GU je v ta namen leta 1994 v sodelovanju z inštitutom IfAG (Institut für Angewandte Geodäsie) iz Frankfurta uspešno izvedla kampanjo EUREF ’94 in leto dni pozneje še obsežnejšo kampanjo SLOVENIJA ’95. Opazovanja so bila izvedena na celotni astrogeodetski mreži Slovenije ter na geodinamičnih točkah. S tem je bila pridobljena odlična osnova za sanacijo celotne položajne mreže in vzpostavljeni pogoji za razvoj integrirane mreže, ki vsebuje astronomske, terestrične, satelitske in gravimetrične meritve, niveliranje položajnih točk ter trigonometrično višinomerstvo (Mišković 1995).

4.4.8.3 Koordinatni sistem

Definicija koordinatnega sistema obsega geodetski (elipsoidni) ter ravninski sistem in s tem izbor kartografske projekcije. Kartografska projekcija je preslikava točk s trirazsežne matematične ploskve (referenčnega elipsoida), ki predstavlja zemeljsko površje, na dvorazsežno ploskev – ravnino karte. Ločimo torej (*FGDC* 1998):

- definicijo horizontalnega koordinatnega sistema:
  - geodetski model,
  - geodetski koordinatni sistem,
  - ravninski koordinatni sistem:
    - kartografska projekcija,
    - pravokotni koordinatni sistem;
- definicijo vertikalnega koordinatnega sistema:
  - višinski koordinatni sistem,
  - globinski koordinatni sistem.

Podobno lahko definiramo koordinatni sistem po najnovejšem osnutku standardov ISO (*ISO/DIS 19111* 2001), vendar tega standarda pri tem ne uporabljamo. Klasični koordinatni sistemi državnih mrež so bili določeni le geometrijsko. Moderni pa so poleg tega določeni tudi s fizikalnimi parametri, ki jih potrebujemo za moduliranje vrtenja in deformacij Zemlje ter določanja gibanja umetnih satelitov (npr. sateliti GPS). V splošnem ločimo (Stopar in Kuhar 2000):

- globalne koordinatne sisteme (približek je npr. ETRS89) in
- lokalne koordinatne sisteme (npr. naš državni koordinatni sistem – DKS).

Horizontalni koordinatni sistem

Geodetski model predstavljajo parametri ploskve referenčnega elipsoida z njegovo orientacijo v prostoru. Pri tem gre za izbor horizontalnega geodetskega datuma. Referenčni elipsoid podamo z:

- veliko polosjo elipsoida *a* in
- malo polosjo elipsoida *b*.

Linearno deformacijo projekcije v dani točki definiramo kot razliko med enoto in linearnim merilom v tej točki. Linearno merilo oz. modul projekcije predstavlja kvocient med infinitezimalno majhnim linearnim elementom na ravnini ter ustreznim linearnim elementom na elipsoidu. Z modulacijo projekcije, ki postane tako sekantna, dosežemo zmanjšanje povprečnih dolžinskih deformacij znotraj meridianske cone. Praktično jo izvedemo z množenjem koordinat (y, x) z izbranim modulom projekcije. Kót med vzporednico osi x koordinatnega sistema skozi dano točko (kartografski sever) in tangento na projekcijo meridiana skozi dano točko (geografski sever) imenujemo meridianska konvergenca.

Geodetski (*elipsoidni*) *koordinatni sistem* definirata ekvator in izhodiščni meridian. Greenwiški meridian (meridian skozi center Airyjevega instrumenta v zvezdarni Greenwich v Londonu) je za večino držav sveta izhodiščni. Ploskev referenčnega elipsoida razdelimo s poldnevniki ali meridiani in vzporedniki ali paralelami. Položaj točke določata geografska (zemljepisna, elipsoidna ali geodetska) širina in dolžina. Širino definira kot med normalo v dani točki ter ravnino ekvatorja, dolžino pa kot med ravnino izhodiščnega meridiana in ravnino meridiana skozi dano točko. Vrednosti za širino in dolžino so izražene z realnimi števili, ki predstavljajo ločne stopinje (centezimalni sistem). Geografske širine φ so definirane na intervalu [–90º, 90º], dolžine λ pa na (–180º, 180º] (Jovanović 1983).

Geografske širine severno od ekvatorja so pozitivne, južno pa negativne. Po dogovoru pripadajo točke na ekvatorju severni polobli. Geografske dolžine vzhodno od izhodiščnega meridiana so pozitivne in zahodno od njega negativne. Točke na izhodiščnem meridianu pripadajo vzhodni polobli, najbolj vzhodni in hkrati najbolj zahodni meridian pa je po dogovoru meridian z geografsko dolžino 180 °. Kateri koli par koordinat z geografsko širino 90 ° predstavlja severni pol, z geografsko širino –90 ° pa južnega (*FGDC* 1998).

Ravninski koordinatni sistem sestavljata kartografska projekcija in pravokotni koordinatni sistem. Kot državna projekcija je na svetu najbolj razširjena konformna prečna Merkatorjeva projekcija (preslikava elipsoida na prečno postavljene valje; angl. transverse Mercator projection). Za območja držav Nata se od leta 1947 imenuje UTM (angl. universal transverse Mercator). V državah bivše vzhodne Evrope jo poznajo kot Gaussova projekcija, pri nas pa je znana pod imenom Gauss-Krügerjeva projekcija. Okoli 90 % držav sveta jo modificirano uporablja za izdelavo državnih kart. Prikladna je za računanje pravokotnih ravninskih koordinat točk geodetskih mrež in za izdelavo natančnih topografskih kart. Prva država, ki jo je uporabila, je bila Avstrija leta 1917, Jugoslavija jo je uporabljala od leta 1924 dalje (Peterca et al. 1974). Po osamosvojitvi je Slovenija prevzela Gauss-Krügerjevo projekcijo kot državno. Za pomorske in letalske karte uporabljamo v Sloveniji Merkatorjevo projekcijo na elipsoidu WGS84. Projekcija je popolnoma določna, če poznamo (*FGDC* 1998):

- geografsko dolžino srednjega meridiana λ_0,
- geografsko širino izhodišča projekcije φ_0,
- faktor merila na srednjem meridianu m_0 ali modul projekcije, ki zagotavlja, da linearna deformacija nikjer znotraj cone ne presega določene vrednosti,
- abscisni zamik *i* (angl. false northing) in
- ordinatni zamik *k* (angl. false easting) – ker bi bile sicer *y*-koordinate točk, ki ležijo zahodno od srednjega meridiana, negativne.

Opišimo še pravokotni koordinatni sistem. V naši državi imamo en sam pravokotni koordinatni sistem (v eni meridianski coni) – 5. Gauss-Krügerjev koordinatni sistem. V UTM koordinatnem sistemu leži Slovenija v coni z oznako 33T. Pravokotni koordinatni sistem v primeru transverzalne Merkatorjeve projekcije definirajo (*FGDC* 1998):

- številka cone,
- predstavitev koordinat,
- predstavitev kotov in razdalj, ki obsega:
  - izhodiščno smer za merjenje kotov, ki je za DKS in ETRS89 smer osi *x*,
  - izhodiščni meridian za merjenje kotov, ki je za DKS in ETRS89 srednji meridian cone,
  - enoto za merjenje kotov, ki je ločna stopinja (centezimalni sistem); kote merimo v pozitivni smeri (nasproti urinemu kazalcu), interval vrednosti (smernih) kotov ν je [0, 360º], ter
  - enoto ravninskih razdalj; v naši državi je z 'Zakonom o merskih enotah in merilih' predpisana uporaba mednarodnega sistem enot SI, po katerem je osnovna enota za merjenje dolžin meter.

Vertikalni koordinatni sistem

Definicija vertikalnega koordinatnega sistema se v splošnem deli na (*FGDC* 1998):

- višinski koordinatni sistem:
  - izbor *vertikalnega datuma*; izhodiščna točka za našo državo je *normalni reper mareografa v Trstu* na pomolu Sartorio (Koler 1994) in
  - izbor *enote za merjenje višin*; enako kot za ravninske razdalje uporabljamo meter;
- globinski koordinatni sistem (definicija je analogna definiciji višinskega koordinatnega sistema).

Nadmorske višine se nanašajo na srednji nivo morja, globine pa na srednji nižji nivo morja (Karničnik et al. 2000). Datuma srednjega nivoja morja višinskega in globinskega koordinatnega sistema se v Kopru razlikujeta za 15 cm. Razliko med obema datumoma bi bilo treba v prihodnosti natančneje izračunati oz. poenotiti za vse slovensko morje. Če bi bila višinski in globinski koordinatni sistem istega datuma, bi imel globinski (srednji nižji nivo morja) izhodišče za 48 cm nižje od višinskega (srednji nivo morja). Do razlike –33 cm (do –34 cm drugje v Sloveniji) pride zaradi razlike med Evropskim vertikalnim referenčnim sistemom (EVRS), ki ima izhodišče v Amsterdamu (Normaal Amsterdams Peil – NAP), in vertikalnim datumom v mareografa v Trstu (EVRS 2000). Transformacijski parametri za EVRS še niso natančno določeni.

4.4.8.4 Parametri slovenskega državnega koordinatnega sistema (DKS)

Slovenski *državni koordinatni sistem* (DKS) je terestrični in se naslanja na Besslov elipsoid iz leta 1841, ki je lokalni in se zelo dobro prilega geoidu na območju naše države. Izračunan je bil tako, da se je čim bolj prilegal relativno majhnemu območju Avstro-Ogrske. Izhodiščna točka, ki določa geodetski datum za našo državo, je trigonometrična točka Hermannskogel pri Dunaju. Njene geografske koordinate so: φ = 48°16'15,29", λ = 16°17'55,04", H = 558,66 m. Astronomska merjenja so bila izvedena leta 1904 v dunajski zvezdarni in prenesena na Hermannskogel. Mreža je orientirana s stranico Hermannskogel – Hundesheimer Berg z astronomskim azimutom α = 107°31'41,70".

Naj omenimo, da pomeni D48 le datum slovenskega državnega koordinatnega sistema (DKS) in ne sistema samega. Gre za danes še vedno veljavno geodetsko mrežo iz leta 1948. Ta temelji na klasičnih opazovanjih smeri in dolžin ter je izračunana na Besslovem elipsoidu in preračunana v Gauss-Krügerjevo projekcijo (Tavčar 1998).

Državna projekcija je prečna Gauss-Krügerjeva kartografska projekcija. Po dogovoru smo v Jugoslaviji vsem koordinatam *y* v 5. coni prišteli vrednost 5.000.000, s čimer so bile nedvoumno označene s šifro koordinatne cone. Takšen zapis imenujemo tudi Baumgartnerjeve koordinate. Slovenija leži vsa v 5. coni, majhen del Prekmurja, ki je bil za časa Jugoslavije v 6. coni, pa je preračunan v 5. cono (Podobnikar 1995a). Baumgartnerjevih koordinat v Sloveniji ne upoštevamo več (Peterca 1993). Za potrebe izdelave DTK 25 so namreč pred nekaj leti uradno odrezali vodilno petico, ki je pomenila 5. cono, poleg tega pa so logično odrezali tudi pri vseh koordinatah *x* prisotno petico.

Parametri referenčnega elipsoida (oblika, velikost; Borčić 1976):

- elipsoid — Besslov iz leta 1841,
- velika polos elipsoida — a = 6.377.397,155000 m,
- mala polos elipsoida — b = 6.356.078,96325 m.

Parametri za geodetski koordinatni sistem:

- izhodiščni meridian — 0°00'00" (Greenwich).

Parametri kartografske projekcije (Gauss-Krüger):

- geografska dolžina srednjega meridiana — λ_0 = 15°00'00" (vzhodno od Greenwicha),
- geografska širina izhodišča projekcije — φ_0 = 0°00'00" (ekvator),
- faktor merila na srednjem meridianu — m_0 = 0,9999 (= 0,0001 = dm/km deformacije),
- abscisni zamik (angl. false northing oz. zaradi negativnega predznaka kar 'false southing') — i = –5.000.000 m,
- ordinatni zamik (angl. false easting) — k = 500.000 m.

Pravokotni koordinatni sistem:

- številka cone: 5;

- širina cone: 3° (za Slovenijo dejansko 3°13' zaradi podaljšanja proti vzhodu in zahodu – to pomeni tudi nekoliko povečano deformacijo faktorja merila na robovih območja);
- predstavitev koordinat:
  - os *x* predstavlja projekcijo srednjega meridiana in je usmerjena proti severu,
  - os *y* predstavlja projekcijo ekvatorja in je usmerjena proti vzhodu.

4.4.8.5 Evropski terestrični referenčni sistem (ETRS89)

ETRS89 je Evropski terestrični referenčni sistem iz leta 1989. Osnova je za projekcijo UTM v Evropi, ki se sicer uporablja na intervalu geografskih širin φ [–80º, 80º]. Osnovna ravnina je ekvator. Smer osi *X* je od centralne točke proti meridianu Greenwich. Smer osi *Z* je v smeri srednjega položaja osi Zemlje med letoma 1900 in 1905. Os *Y* je pravokotna na osi *X* in *Z*, pri čemer je sistem desnosučni.

Za ETRS89 se formalno uporablja elipsoid GRS80. Elipsoid WGS84 se sicer uporablja za ITRS (Mednarodni terestrični referenčni sistem) in je izračunan tako, da ima izhodišče v težišču mas Zemlje, skupaj z oceani in atmosfero. ITRS predstavlja primarni referenčni sistem za ETRS in je povezan s satelitskim sistemom GPS. ETRS89 je bil v letu 1989 stabiliziran na stabilnem delu Evrazijske plošče in sovpada s koordinatnim sistemom ITRS89. ETRS89 (Evrazijska plošča) se glede na ITRS precej homogeno premika za približno 3 cm na leto proti severovzhodu (brez Cipra). Prav zaradi omenjenega premikanja je ETRS89 najprimernejši za območje Evrope. Primerjava ETRS89 z ITRS kaže, da se v večini primerov razlikujeta za manj kot 1 m, tako da razlika za večino aplikacij ni problematična (Stopar in Kuhar 2000). Projekcija v povezavi z referenčnim sistemom je UTM.

Parametri referenčnega elipsoida (oblika, velikost; Hofmann-Wellenhof et al. 1994):

- elipsoid — WGS84 (angl. World Geodetic System 1984),
- velika polos elipsoida — a = 6.378.137,00000 m,
- mala polos elipsoida — b = 6.356.752,31425 m.

Parametri za geodetski koordinatni sistem:

- izhodiščni meridian — 0°00'00" (Greenwich).

Parametri kartografske projekcije (UTM):

- geografska dolžina srednjega meridiana — λ_0 = 15°00'00" (vzhodno od Greenwicha),
- geografska širina izhodišča projekcije — φ_0 = 0°00'00" (ekvator),
- faktor merila na srednjem meridianu — m_0 = 0,9996 (= 0,0004 = 4 dm/km deformacije),
- abscisni zamik (angl. false northing) — i = 0 m (za kartiranje južne poloble na intervalu φ [–80º, 0º] je ta zamik –10.000.000 m, da ne dobimo negativnih vrednosti),
- ordinatni zamik (angl. false easting) — k = 500.000 m.

Pravokotni koordinatni sistem:

- številka cone: 33T (v njej je vsa Slovenija; Dutch 2000);
- širina cone: 6° (60 con po širini za ves svet);
- predstavitev koordinat:
  - os x predstavlja projekcijo srednjega meridiana in je usmerjena proti severu,
  - os y predstavlja projekcijo ekvatorja in je usmerjena proti vzhodu.

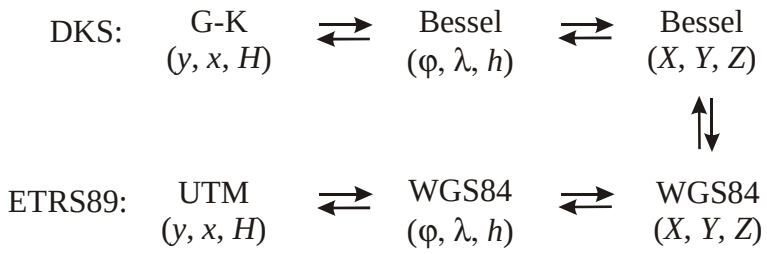
4.4.8.6 Transformacija med koordinatnima sistemoma DKS in ETRS89

Podatki iz različnih virov pogosto pripeljejo do nujnega pretvarjanja koordinat med dvema koordinatnima sistemoma. V našem primeru se ukvarjamo z možnostjo pretvorbe (ki vključuje tudi transformacijo; glej *ISO/DIS 19111* 2001, 16) ploskve DMR iz DKS (Gauss-Krügerjeva projekcija) v ETRS89 (projekcija UTM). Pri tem so možne tudi delne pretvorbe podatkov, kot npr. tistih, pridobljenih z meritvami GPS, v Gauss--Krügerjevo projekcijo na elipsoidu Bessel 1841 ali projekcijo UTM na elipsoidu WGS84. Transformacija med dvema koordinatnima sistemoma, označimo ju z S in T, poteka po naslednjem osnovnem postopku:

1. Pretvorba ravninskih pravokotnih koordinat in ortometričnih višin (x, y, H) v geografske koordinate in elipsoidne višine (φ, λ, h):
$$(x, y, H)_S \rightarrow (\varphi, \lambda, h)_S$$
   a) pretvorba ravninskih pravokotnih koordinat (x, y) v geografske (φ, λ);
$$(x, y)_S \rightarrow (\varphi, \lambda)_S$$
   b) pretvorba ortometričnih višin H v elipsoidne višine h;
$$h_S = H_S + N_{gS}$$
2. Pretvorba geografskih koordinat in elipsoidnih višin (φ, λ, h) v prostorske pravokotne koordinate (X, Y, Z):
$$(\varphi, \lambda, h)_S \rightarrow (X, Y, Z)_S$$
3. Transformacija geodetskega datuma. 7-parametrična podobnostna transformacija koordinat iz enega koordinatnega sistema v drugega:
$$(X, Y, Z)_S \rightarrow (X, Y, Z)_T$$
4. Pretvorba prostorskih pravokotnih koordinat (X, Y, Z) v geografske koordinate in elipsoidne višine (φ, λ, h):
$$(X, Y, Z)_T \rightarrow (\varphi, \lambda, h)_T$$
5. Pretvorba geografskih koordinat in elipsoidnih višin (φ, λ, h) v ravninske pravokotne koordinate in ortometrične višine (x, y, H):
$$(\varphi, \lambda, h)_T \rightarrow (x, y, H)_T$$
   a) pretvorba geografskih koordinat (φ, λ) v ravninske pravokotne (x, y);
$$(\varphi, \lambda)_T \rightarrow (x, y)_T$$
   b) pretvorba elipsoidnih višin h v ortometrične H;
$$H_T = h_T - N_{gT}$$

Če je geoidna višina N_g v dani točki pravilno določena, potem morata biti po pretvorbi ortometrični višini enaki kot pred tem: $H_S = H_T$. Iz zgoraj opisanega postopka vidimo, da sta horizontalni in vertikalni koordinatni sistem strogo ločena. Pri pretvorbi horizontalnih položajev (brez vertikalnih) pojmujemo višino kot atribut. V tem primeru izvaja-

mo celotni postopek z višinami $h_S = h_T = 0$ ter na koncu privzamemo prvotne višine. Slika 21 prikazuje diagram poteka gornjega postopka. V nadaljevanju podrobneje obravnavamo posamezne navedene korake pretvorbe.



Slika 21: Diagram pretvorbe iz DKS v ETRS89, ki velja v obeh smereh (reverzibilnost).

Pretvorba ravninskih pravokotnih koordinat v geografske: $(x, y)_S \rightarrow (\varphi, \lambda)_S$

Koordinate v ravninskem državnem koordinatnem sistemu je treba najprej demodulirati. Pri tem koordinati *y* odštejemo konstantno vrednost ordinatnega zamika (proti vzhodu), *k*, koordinati *x* pa abscisni zamik (proti severu), *i*. Nato obe koordinati delimo s faktorjem merila na srednjem meridianu m_0. Nemodulirani koordinati sta

$$\bar{y} = \frac{y-k}{m_0}\,;\ \bar{x} = \frac{x-i}{m_0} \tag{4-9}$$

Geografska širina točke je (Borčić 1976, 36):

$$\varphi \approx \varphi_1 - \frac{\bar{y}^2 \cdot t_{\varphi_1} \cdot \left(1+\eta_{\varphi_1}^2\right)}{2 \cdot N_{\varphi_1}^2} + \frac{\bar{y}^4 \cdot t_{\varphi_1} \cdot \left(5+3 \cdot t_{\varphi_1}^2 + 6 \cdot \eta_{\varphi_1}^2 \cdot \left(1-t_{\varphi_1}^2\right)\right)}{24 \cdot N_{\varphi_1}^4} + \\ + \frac{\bar{y}^6 \cdot t_{\varphi_1} \cdot \left(61+45 \cdot t_{\varphi_1}^2 \cdot \left(2+t_{\varphi_1}^2\right)\right)}{720 \cdot N_{\varphi_1}^6} \tag{4-10}$$

Geografska dolžina točke je (Borčić 1976):

$$\lambda \approx \lambda_0 + \frac{\bar{y}}{N_{\varphi_1} \cdot \cos\varphi_1} - \frac{\bar{y}^3 \cdot \left(1+2 \cdot t_{\varphi_1}^2 + \eta_{\varphi_1}^2\right)}{6 \cdot N_{\varphi_1}^3 \cdot \cos\varphi_1} + \\ + \frac{\bar{y}^5 \cdot \left(5+28 \cdot t_{\varphi_1}^2 + 24 \cdot t_{\varphi_1}^4\right)}{120 \cdot N_{\varphi_1}^5 \cdot \cos\varphi_1} \tag{4-11}$$

Vrednosti t_{φ_1} in η_{φ_1} izrazimo z naslednjima enačbama

$$t_{\varphi_1} = \mathrm{tg}\varphi_1 \text{ in } \eta_{\varphi_1} = e' \cdot \cos\varphi_1 \tag{4-12}$$

Pri tem je λ_0 geografska dolžina srednjega meridiana cone in φ_1 geografska širina, pri kateri je dolžina loka meridiana enaka koordinati $\bar{x}$ točke.

Geografsko širino φ_1 izračunamo kot inverzno funkcijo iz dolžine loka meridiana L_0^{φ} od ekvatorja do dane geografske širine po iterativnem postopku (enačba 4-6). Iz dolžine loka meridiana računamo geografsko širino po naslednjem postopku, ki ga ponavljamo dokler razlika *d* ni manjša od zahtevane natančnosti (Borčić 1976):

- za prvi približek geografske širine vzamemo

$$\varphi_1' = \frac{2 \cdot \bar{x}}{a+b} \tag{4-13}$$

- izračunamo dolžino loka meridiana L_0^{φ} od ekvatorja do te geografske širine ter razliko

$$d' = \bar{x} - L_0^{\varphi_1'} \tag{4-14}$$

- drugi približek za geografsko širino φ_1 je

$$\varphi_1'' = \varphi_1' + \frac{2 \cdot d'}{a+b} \tag{4-15}$$

- zopet izračunamo dolžino loka meridiana do te geografske širine in razliko

$$d'' = \bar{x} - L_0^{\varphi_1''} \tag{4-16}$$

- ter tretji približek za geografsko širino itd.

Pretvorba geografskih koordinat v ravninske pravokotne: $(\varphi, \lambda)_T \rightarrow (x, y)_T$

Pri obratni nalogi glede na prejšnjo dobimo ravninske pravokotne koordinate v Gauss--Krügerjevi projekciji iz geografskih koordinat po naslednjih enačbah:

- koordinata $\bar{x}$ v Gauss-Krügerjevi projekciji je (Borčić 1976)

$$\begin{aligned}\bar{x} \approx L_0^{\varphi} &+ \frac{(\lambda-\lambda_0)^2 \cdot N_\varphi \cdot \sin\varphi \cdot \cos\varphi}{2} + \\ &+ \frac{(\lambda-\lambda_0)^4 \cdot N_\varphi \cdot \sin\varphi \cdot \cos^3\varphi \cdot \left(5 - t_\varphi^2 + \eta_\varphi^2 \cdot \left(9 + 4 \cdot \eta_\varphi^2\right)\right)}{24} + \\ &+ \frac{(\lambda - \lambda_0)^6 \cdot N_\varphi \cdot \sin\varphi \cdot \cos^5\varphi \cdot \left(61 - t_\varphi^2 \cdot \left(58 - t_\varphi^2\right)\right)}{720}\end{aligned} \tag{4-17}$$

- koordinata $\bar{y}$ v Gauss-Krügerjevi projekciji je (Borčić 1976)

$$\begin{aligned}\bar{y} \approx N_\varphi \cdot \cos\varphi \cdot \Bigg(&(\lambda-\lambda_0) + \frac{(\lambda-\lambda_0)^3 \cdot \cos^2\varphi \cdot \left(1 - t_\varphi^2 + \eta_\varphi^2\right)}{6} + \\ &+ \frac{(\lambda - \lambda_0)^5 \cdot \cos^4\varphi \cdot \left(5 - t_\varphi^2 \cdot \left(18 - t_\varphi^2\right) + 2 \cdot \eta_\varphi^2 \cdot \left(7 - 29 \cdot t_\varphi^2\right)\right)}{120}\Bigg)\end{aligned} \tag{4-18}$$

Pri tem izrazimo vrednosti t_φ in η_φ z enačbama 4-12. Vrednost $\lambda - \lambda_0$ je kót med meridianom točke in srednjim meridianom. Dobljeni nemodulirani koordinati je treba še modulirati. Pomnožimo ju z modulom projekcije, nato pa prištejemo še konstantni vrednosti *k* (ordinatni zamik) in *i* (abscisni zamik):

$$y = m_0 \cdot \bar{y} + k\,;\; x = m_0 \cdot \bar{x} + i \tag{4-19}$$

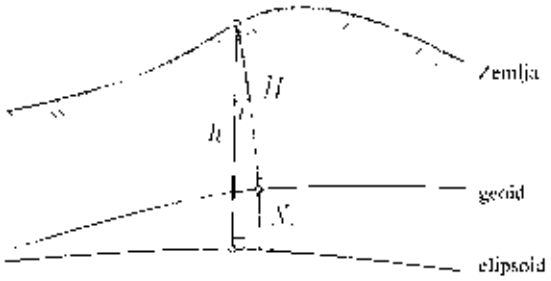
Geoidna višina in pretvorba elipsoidnih višin v ortometrične ter obratno: $h = H + N_g$

Če želimo izračunati prave parametre iskanega referenčnega elipsoida (in ne samo pravilnih razmerij njegovih prostorskih pravokotnih koordinat) iz ravninskih pravokotnih

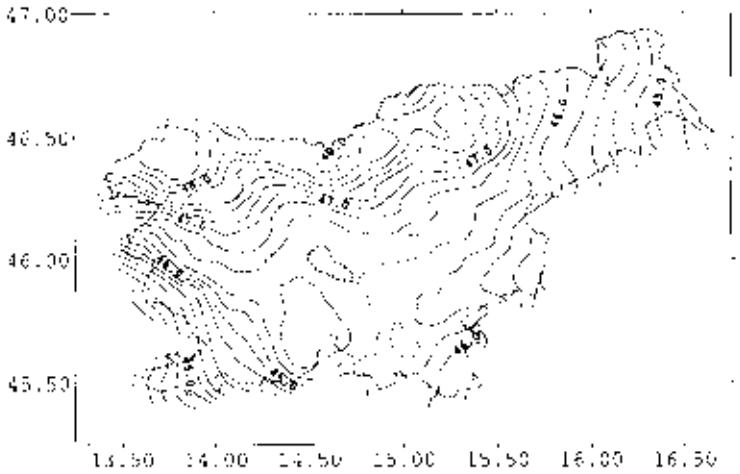
koordinat in ortometrične višine ali če želimo iz znane elipsoidne višine (dobljene npr. iz meritev GPS) izračunati ortometrično, moramo upoštevati tudi parametre vertikalnega koordinatnega sistema, ki vključuje geoidno višino N_g. V praksi namreč elipsoidne (GPS) višine nimajo praktičnega pomena. Geoidno višino N_g definiramo kot razliko med ortometrično (nadmorsko) višino H in elipsoidno višino h (Kuhar 1998)

$$h = H + N_g \tag{4-20}$$

Enačba 4-20 je sicer zelo poenostavljena, vendar je kljub vsemu dovolj natančna za praktične potrebe kartografske natančnosti. Natančneje gledano so ortometrične (sferoidne) višine ukrivljene po navpičnici, elipsoidne pa so pravokotne na elipsoid (Koler 1998; slika 22). Podrobneje se s problemom določitve geoidne višine v disertaciji ne bomo ukvarjali.



Slika 22: Geoid, elipsoid, zemeljsko površje ter parametri h, H in N_g.



Slika 23: Astrogeodetski geoid Slovenije iz leta 1999 glede na elipsoid WGS84 (Stopar in Kuhar 2000).

V letu 1999 so bile za Slovenijo (in del Hrvaške) določene vrednosti geoidne višine s pomočjo astrolaba in digitalnega modela reliefa. Ortometrične višine so bile določene za približno 90 točk. Za natančnejše pretvorbe med koordinatnima sistemoma si lahko pomagamo z interpolacijo omenjenih točk. Vendar bo lahko šele z natančnejšimi meritvami, natančnosti okoli 1 cm za celotno Slovenijo, tudi GPS učinkovito orodje pri neposrednem merjenju in določanju ortometričnih višin za potrebe geodetov (Stopar in Kuhar 2000). Za Slovenijo je vrednost geoidne višine N_g za Besslov elipsoid 1841 med 0

in 5 m (torej se dobro prilega geoidu), vrednost N_g za elipsoid WGS84 pa je med 45 in 48 m (slika 23).

Pretvorba geografskih koordinat v prostorske pravokotne: $(\varphi, \lambda, h)_S \rightarrow (X, Y, Z)_S$

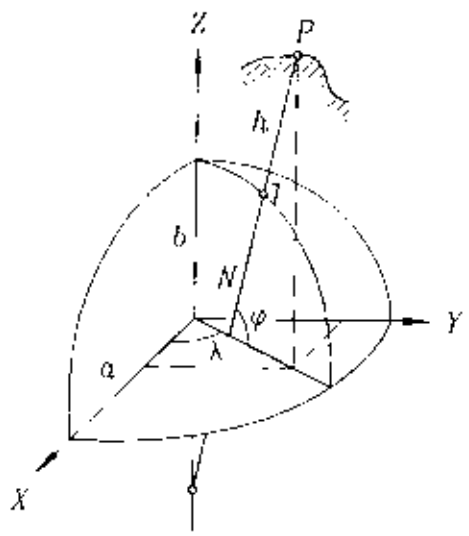
Enačbe pretvorbe geografskih koordinat v pravokotne na referenčnem rotacijskem elipsoidu zapišemo v obliki (Hofmann-Wellenhof et al. 1994; *ISO/DIS 19111* 2001)

$$\vec{X} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N+h)\cos\varphi\cos\lambda \\ (N+h)\cos\varphi\sin\lambda \\ ((1-e^2)N+h)\sin\varphi \end{bmatrix} \tag{4-21}$$

kjer je N radij ukrivljenosti elipsoida po I. vertikalu. Elipsoidni višini h lahko pripišemo vrednost 0 za pretvorbe, ker nadmorska višina ni pomembna, in s tem poenostavimo gornje enačbe. Izračunamo še N

$$N = \frac{a^2}{\sqrt{a^2\cos^2\varphi + b^2\sin^2\varphi}} = \frac{a}{\sqrt{1-e^2\sin^2\varphi}} \tag{4-22}$$

Pri tem sta a in b polosi referenčnega elipsoida, e prva ekscentričnost meridianske elipse in h elipsoidna višina (slika 24 in enačba 4-5).



Slika 24: Prostorske pravokotne in geografske koordinate.

Pretvorba prostorskih pravokotnih koordinat v geografske: $(X, Y, Z)_T \rightarrow (\varphi, \lambda, h)_T$

Obratno pretvorbo od prejšnje za izračun geografskih koordinat na referenčnem rotacijskem elipsoidu izvedemo po naslednjih enačbah (Hofmann-Wellenhof et al. 1994; *ISO/DIS 19111* 2001)

$$\varphi = \operatorname{arctg}\frac{Z}{\sqrt{X^2+Y^2}}\left(1-e^2\frac{N}{N+h}\right)^{-1};\ \lambda = \operatorname{arctg}\frac{Y}{X};\ h = \frac{\sqrt{X^2+Y^2}}{\cos\varphi} - N \tag{4-23}$$

Pri tem sta a in b polosi referenčnega elipsoida, e prva ekscentričnost meridianske elipse in h elipsoidna višina (slika 24). Za izračun φ pogosto uporabljamo nekoliko boljši prib-

ližek, ki odpravi sistematsko napako, usmerjeno za 15 do 35 cm proti jugu z enačbo (Vodopivec 1996)

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{Z + e'^2 b \sin^3 \vartheta}{\sqrt{X^2 + Y^2} - e^2 a \cos^3 \vartheta} \tag{4-24}$$

kjer je e' druga ekscentričnost meridianske elipse (enačba 4-5) in vrednost kota ϑ

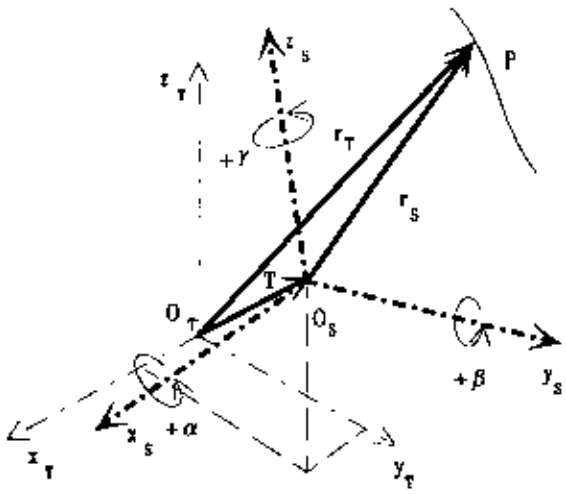
$$\vartheta = \operatorname{arctg} \frac{Z \cdot a}{\sqrt{X^2 + Y^2} \cdot b} \tag{4-25}$$

Transformacija geodetskega datuma: $(X, Y, Z)_S \rightarrow (X, Y, Z)_T$

Pri transformaciji med dvema datumoma prihaja vedno do distorzij. V tem primeru za razliko od pretvorb v določenem datumu ne moremo pretvarjati brez matematičnih aproksimacij. Za transformacijo med dvema referenčnima elipsoidoma, v našem primeru gre za globalni elipsoid WGS84 in Besslov 1841, lahko uporabimo 7-parametrično podobnostno transformacijo. Ta transformacija je konformna, torej je faktor merila enak v vseh smereh (Stopar 1998). Funkcionalni model podobnostne transformacije med koordinatnima sistemoma S in T ali vektorjema koordinat $\mathbf{X}_S$ in $\mathbf{X}_T$ danih v obeh koordinatnih sistemih, je podan z izrazom (Stopar 1997; slika 25)

$$\vec{X}_T = (1 + d\bar{m}) \cdot \mathbf{R} \cdot \vec{X}_S + \vec{T} \qquad 4\text{-}26)$$

Pri tem je **R** ortogonalna rotacijska matrika, $(1 + d\bar{m})$ faktor merila koordinatnega sistema S glede na koordinatni sistem T in $\vec{T}$ vektor translacije izhodišča koordinatnega sistema S glede na koordinatni sistem T.



Slika 25: Matematični model 7–parametrične podobnostne transformacije.

Matrika **R** je sestavljena iz produkta rotacijskih matrik, ki predstavljajo vrtenja elipsoida okrog koordinatnih osi koordinatnega sistema S. Kót zasuka je pozitiven v protiurni smeri, gledano od pozitivnega kraka osi proti izhodišču koordinatnega sistema. Najpo-

gosteje se uporablja t. i. kardanska rotacijska matrika, ki jo dobimo z zaporednim množenjem rotacijskih matrik okoli posameznih osi. Rotacijsko matriko zapišemo kot

$$\mathbf{R} = \mathbf{R}(\alpha, \beta, \gamma) = \mathbf{R}_{x_S}(\gamma)\mathbf{R}_{y_S}(\beta)\mathbf{R}_{z_S}(\alpha) \tag{4-27}$$

Posamezne rotacijske matrike vrtenj po posameznih oseh so

$$\mathbf{R}_{x_S}(\gamma) = \begin{bmatrix} \cos\gamma & \sin\gamma & 0 \\ -\sin\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \ \mathbf{R}_{y_S}(\beta) = \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix}$$
$$\mathbf{R}_{z_S}(\alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \sin\alpha \\ 0 & -\sin\alpha & \cos \end{bmatrix} \tag{4-28}$$

Z množenjem posameznih rotacijskih matrik dobimo matriko

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \cos\beta\cos\gamma & \cos\alpha\sin\gamma + \sin\alpha\sin\beta\cos\gamma & \sin\alpha\sin\gamma - \cos\alpha\sin\beta\cos\gamma \\ -\cos\beta\sin\gamma & \cos\alpha\cos\gamma - \sin\alpha\sin\beta\sin\gamma & \sin\alpha\cos\gamma + \cos\alpha\sin\beta\sin\gamma \\ \sin\beta & -\sin\alpha\cos\beta & \cos\alpha\cos\beta \end{bmatrix} \tag{4-29}$$

Za majhne vrednosti kotov rotacij (enačba 4-29) lahko uporabimo približek za rotacijsko matriko

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 1 & d\gamma & -d\beta \\ -d\gamma & 1 & d\alpha \\ d\beta & -d\alpha & 1 \end{bmatrix} \tag{4-30}$$

Na osnovi ocenjenih vrednosti transformacijskih parametrov lahko preračunamo v koordinatni sistem T poljubne koordinate točk, ki so dane samo v začetnem koordinatnem sistemu S. Če rotacijsko matriko **R** (enačba 4-30) zapišemo kot

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{bmatrix} \tag{4-31}$$

potem lahko pretvorjene koordinate v končnem koordinatnem sistemu T izračunamo iz danih položajev v začetnem koordinatnem sistemu S z izrazi

$$\begin{aligned} X_T &= (r_1 X_S + r_2 Y_S + r_3 Z_S) \cdot (1 + dm) + X_0 \\ Y_T &= (r_4 X_S + r_5 Y_S + r_6 Z_S) \cdot (1 + dm) + Y_0 \\ Z_T &= (r_7 X_S + r_8 Y_S + r_9 Z_S) \cdot (1 + dm) + Z_0 \end{aligned} \tag{4-32}$$

Vrednosti transformacijskih parametrov iz DKS (Bessel 1841) v ETRS89 (WGS84; enačba 4-33 – levo) in obratne (enačba 4-33 – desno) so bile izračunane na osnovi rezultatov GPS opazovanj na omenjenih kampanjah EUREF ’94 in SLOVENIJA ’95 (Stopar 1998). Uporabljena je bila 7-parametrična podobnostna transformacija.

$$
\begin{aligned}
X_0 &= 426{,}9466 & X_0 &= -426{,}9206 \\
Y_0 &= 142{,}5844 & Y_0 &= -142{,}6186 \\
Z_0 &= 460{,}0891 & Z_0 &= -460{,}0871 \\
\alpha &= -4{,}907790'' & \alpha &= 4{,}908060'' \\
\beta &= -4{,}488389'' & \beta &= 4{,}488093'' \\
\gamma &= 12{,}423059'' & \gamma &= -12{,}423166'' \\
dm &= 17{,}1131 / 1.000.000 & dm &= -17{,}1128 \ / 1.000.000
\end{aligned}
\tag{4-33}
$$

Natančnost transformiranih koordinat je odvisna od natančnosti določitve transformacijskih parametrov in od natančnosti koordinat točk v začetnem koordinatnem sistemu S. Z uporabo navedenih parametrov podobnostne transformacije je bila ocenjena natančnost astrogeodetske mreže Slovenije (trigonometrične točke I. reda) na približno 1 m (Stopar in Kuhar 2000). V splošnem pa imamo za transformacije koordinat točk v/iz državnega geodetskega koordinatnega sistema opravka z močnimi lokalnimi deformacijami, ki izvirajo iz lokalne nenatančnosti državne geodetske mreže. Te je treba upoštevati pri oceni natančnosti transformiranih položajev točk. Na podlagi dosedanjih testov, ki so bili opravljeni z navedenimi transformacijskimi parametri (enačba 4-33), lahko za celotno območje Slovenije določimo položaj točk, ki do največ 2 m odstopa od pravilnega. Odstopanje je največje v vertikalni smeri položaja posameznih točk (Stopar 1998; Stopar in Kuhar 2000). Omenjeno napako lahko zmanjšamo z istočasno izravnavo in transformacijo množice točk, pri čemer moramo poznati nekaj koordinat identičnih točk v obeh koordinatnih sistemih.

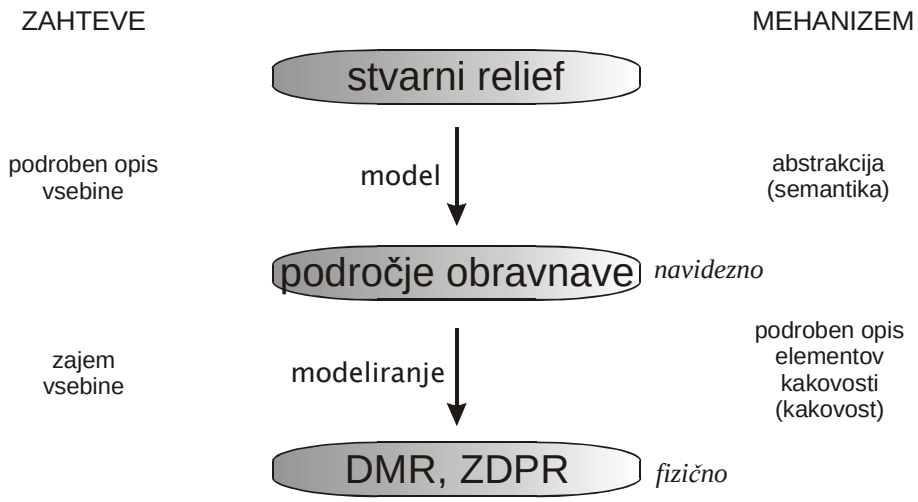
4.4.8.7 Geokodiranje

Pri geokodiranju nas zanima predvsem vpenjanje podatkov v koordinatni sistem in pri tem izvajanje geometrijskih popravkov. V prejšnjem razdelku, pri pretvorbah in transformacijah med ETRS89 in DKS, je šlo pravzaprav za geokodiranje na osnovi znanih parametrov. Sedaj pa obravnavajmo možnost, da transformacijskih parametrov ne poznamo. Pri geokodiranju gre največkrat za transformacijo podatkov iz nekega lokalnega koordinatnega sistema S v državni koordinatni sistem – DKS ali kak drugi koordinatni sistem T. Pri tem se lahko vpenja podatke daljinskega zaznavanja, aeroposnetkov in digitaliziranih podatkov kartografskega gradiva (Kvamme et al. 1997, 71, 76, 82). Z geokodiranjem vpenjamo podatke z določitvijo novih vrednosti položaja v horizontalnem smislu, v primeru izdelave DMV iz satelitskih posnetkov pa tudi za nove vrednosti položaja v vertikalnem smislu.

Za uspešno geokodiranje je treba poiskati primerno število identičnih točk in jim določiti koordinate v koordinatnih sistemih S in T. Najlepše je, če lahko take točke določimo samodejno, recimo s primernim algoritmom ujemanja (matching). Za transformacijo moramo izbrati primerno metodo, npr. že omenjeno 7-parametrično podobnostno (enačba 4-32). Pri tem se izvaja izravnava (povprečenje) po metodi najmanjših kvadratov in se izračunajo srednji kvadratni odkloni *m*. Če so vrednosti odklonov v dovoljenih mejah, potem je bila transformacija uspešno izvedena in vsi podatki koordinatnega sistema S vpeti v T. Parametri transformacije se določijo pri izravnavi. V primeru transformacije slojev, zapisanih v obliki celične mreže, je treba izvajati tudi prevzorčenje (razdelek 4.4.5).

4.5 INFORMACIJE O KAKOVOSTI DMR

Vire za izdelavo DMR in do različnih stopenj obdelane prostorske podatke spremljamo z informacijami o kakovosti podatkov. Zanesljivost DMR je povezana z geometrično in semantično (pomensko) pravilnostjo ter vsebuje vse informacije o kakovosti (Martinoni in Bernhard 1998). Z ustvarjanjem modela, kot načina premišljevanja, izvajamo abstrakcijo stvarnega (dejanskega, realnega) površja. V abstrakcijo so glede na postavljene hipoteze vključene semantične informacije, ki temeljijo na zaznavanju stvarnosti. Zaradi različnih zaznavanj stvarnosti si lahko zamislimo različne modele reliefa. Končne izdelke DMR dobimo torej z različnimi postopki (aplikacijami), ki temeljijo na različnih modelih reliefa. DMR ne smemo enostavno deklarirati kot nenatančnega ali nezanesljivega, če je kljub vsemu primeren za določeno uporabo. Njegova uporabnost je torej odvisna od namena in zahtev posameznega uporabnika. Na tovrstne primere se nanaša ideja za definicijo *kakovosti* kot »primernosti za uporabo« (slika 26).



Slika 26: Poenostavljen model kakovosti pri izdelavi modela reliefa od stvarnosti prek področja obravnave do DMR (prirejeno in nadgrajeno po Aaldersu 1996).

Informacije o kakovosti DMR so implicitno vsebovane že v samem definiranju sestavin DMR (razdelek 4.1). Model kakovosti je pomembna sestavina definicije DMR in ga lahko pojmujemo kot ogrodje verodostojne izgradnje (Podobnikar 1998a). Kakovost definiramo kot razliko (nenatančnost in netočnost podatkov), ki nastane s primerjavo področja obravnave z dejanskimi podatki. Kakovostnim kriterijem mora zadostovati DMR in celotna zbirka digitalnih podatkov reliefa (ZDPR). Za verodostojno modeliranje reliefa moramo upoštevati tako proizvajalce kot tudi uporabnike (Martinoni in Bernhard 1998; *ISO/DIS 19113* 2001) in omogočati učinkovito sporazumevanje med njimi:

- določen in upoštevan mora biti standardni model kakovosti in standardna metodologija za določanje elementov kakovosti;
- *proizvajalec* mora opisati kakovost izdelanega DMR in dati na razpolago razumljivo standardno poročilo o kakovosti izdelka; povzetek tega poročila gre v standardne metapodatke;
- *uporabnik* mora vedeti, kaj potrebuje in pričakuje od DMR, torej mora razumeti informacije o kakovosti izdelka, ki jih navaja proizvajalec.

Modeli kakovosti se torej lahko med seboj razlikujejo. Za »sporazumevanje« med proizvajalci in uporabniki je smiselno uporabljati razumljiv in poenoten jezik (Kvamme et al. 1997, 368), ki opisuje kakovost izdelka in s tem definira področje obravnave. V tem primeru lahko pomagajo ustrezni standardi kakovosti. Standarde potrebujemo za doseganje kakovosti podatkov, za urejeno in enotno izmenjavo podatkov, za medsebojno operativnost strojne in programske opreme ter za postopke pridobivanja podatkov (Robinson et al. 1995). Predpisani kakovosti (predhodna izhodišča) zadostimo, če jo dokažemo z dejanskim testiranjem (*NCGIA* 2000; *ISO/DIS 19113* 2001).

Standardizirane opise kot povzetke poročil o kakovosti podatkov imenujemo metapodatki. Uporabnost standardiziranih metapodatkov povečamo z zbiranjem v kataloge (tiskane ali še bolje digitalne, dostopne po internetu). Primer je Centralna evidenca prostorskih podatkov (*CEPP* 1997–2000), kjer so navedeni tudi ponudniki podatkov. Z uvedbo standardiziranih metapodatkovnih opisov postanejo informacije razumljive vsem, ki poznajo in razumejo določen standard. Standard je torej nujen za urejen in poenoten način izmenjave informacij o podatkih.

V disertaciji se naslanjamo na nekaj dostopnih standardov. Pri tem se pojavlja problem uporabe najnovejših (in najboljših) standardov, ki zadostujejo potrebam v Sloveniji. Na splošno so evropski in tudi slovenski standardi težje dostopni in proti plačilu, ameriški so pogosto brez omejitev dosegljivi po internetu, medtem ko vsi mednarodni standardi še niso usklajeni. Kot osnovne standarde za opis kakovosti prostorskih podatkov in njihove metapodatkovne opise uporabljamo evropske metapodatkovne predstandarde o kakovosti geografskih podatkov – CEN (Comité Européen de Normalisation). Tehnični odbor CEN/TC 287 je leta 1998 po šestletnih aktivnostih sprejel skupino predstandardov (Šumrada 1999), ki danes počasi zamirajo (Annoni 2001b). Skupina slovenskih standardov za geografske informacije USM/TC GIG se opira na skupino še nedodelanih standardov ISO, ki jih izdeluje ISO/TC 211 (*ISO/TC 211* 1997–2000; Chenez in Kermarrec 2000) ter na CEN/TC 287 (Šumrada 1999). Na žalost je skupina CEN/TC 287 ostala na ravni predstandardov, medtem ko je skupina ISO/TC 211, ki so jih začeli pripravljati leta 1994, tik pred končno izdelavo (Gouveia et al. 2001; *ISO/DIS 19113* 2001), zato se naslanjamo tudi nanje. Standardi ISO/TC 211 so napisani v jezikih XML in UML in se ujemajo z načeli neformalnih standardov 'OpenGIS', ki slonijo na upravljanju prostorskih podatkov po internetu in s tem večji interoperabilnosti (Hecht 2000). Tovrsten način omogoča učinkovitejše distribuirano modeliranje DMR (Wirz 2001).

Med uporabljenimi standardi, pripravljenimi posebej za izdelavo (ameriškega) DMR, velja omeniti USGS NMP (United States Geodetic Survey National Mapping Program) – Digital Elevation Model Standards/Metadata Standards (*USGS* 2000). Predvsem pri umeščanju DMR v slovenski državni koordinatni sistem – DKS (razdelek 4.4.8) smo se naslanjali tudi na metapodatkovni standard za geografske podatke FGDC (Federal Geographic Data Committee; *FGDC* 1998).

Iz osnutka standardov ISO je razvidno, da je kakovost podatkov opisana z *elementi kakovosti podatkov* (kvantitativna kakovost) in s *preglednimi elementi kakovosti podatkov* (nekvantitativna kakovost). Elementi kakovosti prostorskih podatkov s pripadajočimi podelementi, ki so ogrodje za metapodatkovni opis podatkov, so naslednji (*CEN* 1994–1998; *CEPP* 1997–2000; predvsem pa *ISO/DIS 19113* 2001):

- *popolnost* (angl. completeness) – pojavnost/odsotnost prostorskih objektov, atributov in relacij:
  - preveč/premalo podatkov;

- *logična usklajenost* (angl. logical consistency) – stopnja podvrženosti logičnim pravilom o strukturi, atributom in relacijam:
  - konceptualna, področna, formatna, topološka;
- *položajna natančnost* (angl. positional accuracy) – georeferenčna, lokacijska; horizontalna/vertikalna natančnost/točnost prostorskih objektov:
  - absolutna ali zunanja, relativna ali notranja, natančnost mrežnih celic;
- *časovna natančnost* (angl. temporal accuracy) – časovna pravilnost/natančnost atributov ter pravilnost/natančnost časovnih relacij prostorskih objektov:
  - natančnost merjenja časa, časovna usklajenost, časovna veljavnost;
- *tematska natančnost* (angl. thematic accuracy) – natančnost kvantitativnih atributov in pravilnost nekvantitativnih atributov ter klasifikacija prostorskih objektov s pripadajočimi relacijami:
  - pravilnost klasifikacije, pravilnost nekvantitativnih atributov, natančnost kvantitativnih atributov.

Popolnost in logična usklajenost podatkov sta pri izdelavi DMR relativno enostavno obvladljivi. Pri popolnosti nas največkrat zanima pokritost obravnavanega območja s podatki, pri logični usklajenosti pa gre med drugim tudi za topološko neoporečnost podatkov. Rastrski GIS, kot najpogostejše okolje za analize DMV, praktično ne omogoča pojavljanja napak logične usklajenosti, so pa tovrstni problemi pogostejši pri vektorski strukturi, v kakršni je zapisano precej podatkov virov. Položajno, časovno in tematsko natančnost lahko imenujemo *parametri kakovosti* (*CEN* 1994–1998). Poleg tega lahko za vsak element kakovosti poljubno izdelamo dodatne podelemente. Vsak podelement je lahko opisan z naslednjimi sedmimi opisi kakovosti podatkov:

- področje oz. namen,
- mera,
- postopek ocene,
- rezultat,
- tip zapisa vrednosti,
- enota vrednosti,
- datum.

V drugo skupino (poleg elementov, podelementov ter njihovih opisov) spadajo *pregledni elementi kakovosti*:

- *namen* (angl. purpose),
- *uporaba* (angl. usage) in
- *poreklo* (angl. lineage).

Hkrati z vse večjo uporabo digitalnih prostorskih podatkov se razvija vse več metod za kontrolo kakovosti podatkov, ki vključujejo tehnike testiranja in ocenjevanja. Osnutek standardov ISO za geografske informacije (*ISO/DIS 19113* 2001, 7, 8) sicer omogoča razširitev elementov kakovosti s poljubnim številom novih elementov in t. i. podelementov. Kljub vsemu pa standardi ne opisujejo dovolj podrobno elementov kakovosti, ki so pomembni za oceno kakovosti določenih podatkov, v našem primeru DMR. Zato smo opise nekaterih elementov kakovosti razširili. Upoštevati moramo torej še (glej tudi

razdelek 4.5.3; Tempfli 1986; Theobald 1992; Kraus 1994; Veregin 1997; Gong et al. 2000):

- geomorfološke značilnosti dejanskega reliefa (predvsem razgibanost);
- natančnost/točnost (npr. merilo kartiranja virov), gostota (ločljivost) in porazdelitev podatkov virov za izdelavo DMR;
- metode, ki se uporabljamo za izdelavo DMR in za testiranje oz. oceno kakovosti;
- vpliv strukture zapisa podatkov (vektorska, rastrska, TIN, hibridna);
- dostopnost virov ali pravica do uporabe (za uskladitev želja uporabnikov in dejanskih možnosti), format zapisa;
- cena, ki vpliva na zadovoljivo kakovost virov in izdelavo DMR.

4.5.1 Določitev področja obravnave za DMR

Za ugotavljanje in definiranje elementov kakovosti podatkov je zelo pomembna določitev *področja obravnave*, ki temelji na semantičnem zaznavanju okolja (stvarnega površja). Področje obravnave določimo pristransko (subjektivno), pri čemer z idealiziranim pogledom na svet ustvarimo interpretacijo dejanskih objektov stvarnega površja. V našem primeru moramo torej podrobno opisati vsebino reliefa, ki ga želimo imeti v DMR. Pri kartografski upodobitvi površja pomagajo kartografska pravila za izdelavo ter kartografski ključ. Kartirane nadmorske višine lahko uporabljamo tudi pri izdelavi DMR, zato moramo kartografska pravila in ključ poznati. Podobno kot za kartografske podatke moramo imeti tudi za izdelavo DMR izdelan nekakšen »ključ« oz. navodila za interpretacijo digitalnih modelov reliefa. Nekaj podobnega je bilo narejeno za obstoječi DMR 100.

4.5.1.1 Območja in objekti, ki jih štejemo k DMR

Pri izdelavi DMR upoštevamo elemente naravnega in antropogenega zemeljskega površja. Za vsebino površja ploskve dogovorno upoštevamo tiste objekte, skozi katere fizično ne moremo iti. Tega se držim tudi pri izdelavi DMR v doktorski disertaciji. Pri tem se deloma naslanjam na standarde USGS (*USGS* 1998). K DMR štejemo:

- površje prsti (in ne npr. žive skale pod prstjo);
- gladino morja in naravnih ter umetnih jezer (idealizirano brez valov, torej ploskev srednjega nivoja), rek in potokov, tako naravnih kot tudi umetnih;
- površje ledenikov;
- terase, kamnolome, gramoznice, odprte kope, odlagališča odpadkov in druge deponije, nasipe in useke cest ter železnic, parkirišča, letališča, izravnave površja pri spremembi travnikov ali gozdov v njive, regulacije rek in potokov ter večina drugih antropogenih elementov površja, ki jih lahko štejemo med t. i. nizke gradnje.

Za nekatere dele površja Zemlje se zaradi njegove dinamičnosti nikakor ne da imeti zadovoljivih podatkov o nadmorski višini. Kontinentalne litosferske plošče relativno počasi potujejo, se oddaljujejo ali se narivajo druga na drugo ter povzročajo gubanje zemeljskega površja. Spreminjanje površja pospešujejo potresi, ki povzročajo prelome in premike površja ter sekundarne pojave, kot so utekočinjenja tal (likvefakcija), zemeljski

plazovi, usadi, podori in podobno (Vidrih 2000). Velikonočni potres ter jesenske poplave so npr. leta 1998 v Sloveniji povzročili izrazite spremembe v naravi. Pri potresu so površje spreminjali predvsem sekundarni pojavi, kot so kamninski podori in zdrsi ter padajoče skalne gmote in kamninski tok. Novembra leta 2000 pa je prišlo do velikega zemeljskega plazu pod Mangartom, ki je občutno spremenil površje okolice Loga pod Mangartom. Pomemben vpliv na spreminjanje površja imajo tudi drugi naravni elementi, kot so vulkani, vpliv vremena in podnebja.

Dvignjeno in nagubano zemeljsko površje oz. višinske razlike so povod za *erozivno* (sekundarno) spreminjanje površja, na kar vpliva nekaj pomembnejših dejavnikov (Lazarević 1975, 96; Podobnikar 1995b, 71). Med najpomembnejše spada *intenzivnost erozivne energije*, ki je odvisna od geografskega položaja oz. podnebja, ter se nanaša na količino in predvsem intenzivnost padavin (mehanski in kemični vplivi), na temperaturo in temperaturne spremembe, na moč vetra ali valovanja voda itd. Pomembni dejavniki, ki pospešujejo erozijo so tudi oblikovanost zemeljskega površja (*relief*) – predvsem nakloni, *geološka sestava tal*, *vegetacija* in *človek* s posegi v naravo.

Antropogeni elementi, za katere v vseh primerih ne moremo dobiti zadovoljivih podatkov o nadmorski višini, so lahko relativno majhni, npr. individualne gradnje. Lahko pa so veliki, npr. rudniški dnevnimi kopi ali pogrezanja celih območij zaradi podzemnih rudniških rovov in jaškov (npr. ugrezninska jezera pri Velenju). Mednje spadajo tudi kamnolomi, gramoznice, odlagališča odpadkov in drugi nasipi ali useki ter nestalne zajezitve rek.

4.5.1.2 Območja in objekti ki jih ne štejemo k DMR

K DMR ne štejemo objektov in območij, skozi katere ali pod katerimi se lahko fizično premikamo. Prikažemo jih lahko npr. le kot atribute, ki jih »postavimo« na DMR. Med take objekte in območja spadajo:

- zgradbe – hiše, dimniki, zidovi, mostovi, viadukti ipd., torej večina t. i. visokih gradenj (površje pod zgradbami interpoliramo pri upoštevanju višin njihovega oboda),
- jame, predori,
- vrhovi posameznih dreves ali gozdov,
- (začasna) snežna odeja itd.

Seveda je lahko v nekaterih primerih precej nejasnosti, kot je npr. izdelava detajla DMR okoli velikega naravnega mostu v Rakovem Škocjanu. V tem primeru je verjetno najpravilneje, da vzamemo za višino površje mosta. Še težji primer je izdelava modela reliefa za naravne skalne previse. K sreči zelo izrazitih tovrstnih primerov v Sloveniji ni. Omenjene nejasnosti se da seveda razrešiti z izdelavo pravega, trirazsežnega reliefa, kakršnih v disertaciji ne obravnavamo.

4.5.2 Natančnost/točnost ter napaka/odklon/nedoločljivost

Pri opisu modela kakovosti (razdelek 4.5) smo omenili natančnost (in točnost) kot enega izmed najpomembnejših kazalcev kakovosti DMR in pri tem ločili položajno, tematsko in časovno natančnost. Najpodrobneje se bomo ukvarjali s položajno natančnostjo in točnostjo. Nekateri standardi za kakovost prostorskih podatkov podajajo za oceno kakovosti predvsem metrične kriterije, ki jih v praksi največkrat opredelimo s statističnimi

spremenljivkami. Precej celovitejši opis pa je pri standardih pogrešati predvsem na področju vizualnih kriterijev ocene natančnosti in točnosti DMR.

4.5.2.1 Položajna, tematska in časovna natančnost

Opis natančnosti podatkov želimo ločiti glede na t. i. parametre v modelu kakovosti. Položajna natančnost obravnava metrično natančnost položaja v prostoru, tematska pa v splošnem pravilnost teme (atributov). Splošen primer dobre ločitve med položajno in tematsko natančnostjo je napaka lastništva proti napaki meritve parcele oz. določitve dolžin ali površin. Primer slabe ločitve med pojmoma je določitev plastnic ali meje med razredi, npr. med cesto, vegetacijo in jezerom. Pomembno je tudi poznavanje časovnih sprememb DMR. Časovno natančnost lahko pojmujemo kot časovno ločljivost pri ovrednotenju kakovosti podatkov.

4.5.2.2 Natančnost/točnost podatkov

Za opis kakovosti podatkov uporabljamo dva pomembna pojma: natančnost in točnost. Natančnost podatkov merimo navadno z standardnim odklonom, medtem ko točnost s srednjim odklonom v povezavi s standardnim odklonom ali s srednjim kvadratnim odklonom. Največkrat ju opredelimo kar s skupnim in posplošenim izrazom »natančnost«, ki ga pogosto uporabljamo tudi v disertaciji.

Natančnost podatkov, za katero lahko uporabimo nekoliko slabšo sopomenko preciznost, pove, kako blizu so si ponavljajoče se meritve istega pojava (*GG* 1986; Podobnikar 1999a) oz. stopnjo podrobnosti, s katero je zapisan rezultat (Goodchild 1995, 67). Pod pojem *natančnost podatkov* štejemo *naključne odklone*, ki ostanejo po odstranitvi sistematskih in grobih napak. Pomembna mera natančnosti je *standardni odklon* σ, ki predstavlja srednje odstopanje obravnavane populacije od njene aritmetične sredine. Večja vrednost σ pomeni večjo razpršenost. Standardni odklon σ v eni razsežnosti zapišemo s formulo

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \qquad (4\text{-}34)$$

kjer je n število testnih vrednosti, x_i posamezne testirane vrednosti (npr. nadmorske višine geodetskih točk) ter $\bar{x}$ aritmetična sredina testiranih vrednosti. Pogosto določimo standardni odklon s predhodno oceno glede na znane vplive, ki ga povzročajo.

Primer uporabe standardnega odklona je ovrednotenje in določitev natančnosti posameznih (neodvisnih) vrednosti geodetskih točk x_i, ki so ponavadi sicer točne. Drugi primer je primerjava geodetskih točk in DMR, pri čemer je x_i razlika med vrednostjo posamezne geodetske točke in vrednostmi na DMR. V tem primeru moramo predpostaviti, da so geodetske točke popolnoma točne in natančne, torej kot področje obravnave, medtem ko je DMR točen, a nenatančen. Z drugimi besedami, aritmetična sredina odstopanj vrednosti geodetskih točk od DMR je enaka 0, standardni odklon razlike geodetskih točk od DMR pa ima neko vrednost.

Točnost podatkov pove, kako blizu (gre za odmik) množice pravih ali privzetih pravih vrednosti je odgovarjajoča množica merjenih vrednosti (Goodchild 1990; Li 1998; Podobnikar 1999a). *Netočne* in s tem neustrezne podatke opredelimo s sistematskimi in grobimi napakami. Grobe napake in po možnosti tudi čim več sistematskih moramo od-

straniti, preden jih vključimo v zbirko digitalnih podatkov reliefa (ZDPR). Pogosto uporabljamo za mero točnosti *srednji kvadratni odklon* – RMSD (iz angl. 'root-mean--square deviation'; *LEO* 1995–2000; v geodeziji tudi srednji kvadratni pogrešek), ki ga označimo z *m*. RMSD predstavlja srednje odstopanje oz. napako »meritev« glede na področje obravnave (približek dejanskega sveta), ki je lahko definiran tudi kot aritmetična sredina meritev in ga izračunamo po formuli

$$m = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - x'_i)^2} \qquad (4\text{-}35)$$

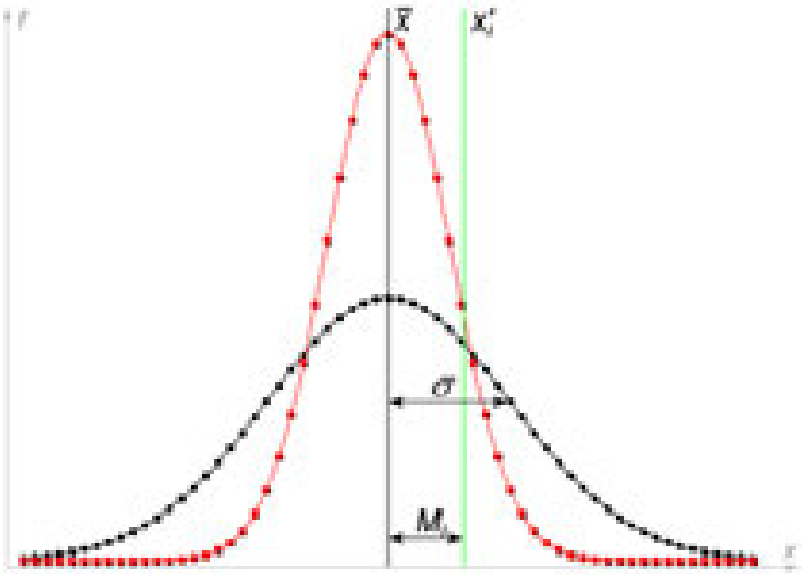
Najpomembnejša razlika med formulama standardnega odklona σ in srednjega kvadratnega odklona *m* je, da je pri prvem izračunana aritmetična sredina ponavljajočih se meritev $\bar{x}$, pri drugem pa je podana vrednost področja obravnave x'_i. Dober rezultat pri izračunu srednjega kvadratnega odklona *m* dobimo le takrat, ko je *srednji odklon M* blizu vrednosti 0. *M* se izračuna kot aritmetična sredina vsote razlik med vrednostmi področja obravnave in posameznimi meritvami na istih testnih mestih, in sicer kot

$$M = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - x'_i) \qquad (4\text{-}36)$$

Boljša mera točnosti – označimo jo z m_1, predstavlja srednji odklon *M* v povezavi s srednjim kvadratnim odklonom okoli povprečne vrednosti, za katerega približek je lahko kar standardni odklon σ. Omenjeni σ je v tem primeru izračunan ob upoštevanju *M* (Li 1998). Mero m_1 dobimo torej kot

$$m_1 = M \pm \sigma \qquad (4\text{-}37)$$

M podaja vrednost *sistematske napake* meritev glede na področje obravnave ter predznak, če ga lahko definiramo. Če je *M* = 0, potem so podatki točni, preostane le še mera natančnosti σ, ki predstavlja *naključne odklone*.



Slika 27: Natančnost in točnost.

Primer izračuna točnosti se lahko nanaša na enačbo 4-37 in pri tem z obrazložitvijo standardnega odklona DMR glede na referenčne geodetske točke. V tem primeru privzamemo, da so referenčne točke točne (področje obravnave), medtem ko so odgovarjajoče vrednosti DMR netočne (in ponavadi tudi nenatančne). Z drugimi besedami, aritmetična sredina odstopanj geodetskih točk od DMR dobi neko vrednost, različno od 0, standardni odklon razlike geodetskih točk od DMR je enak 0 (ali pa ima v primeru nenatančnosti neko vrednost). Še precej boljši, kot opisane mere natančnosti in točnosti so lahko empirični modeli napak in odklonov. Slika 27 prikazuje razliko med manj natančnimi meritvami (črna krivulja z označenim standardnim odklonom σ in nižjo maksimalno frekvenco *f*) ter bolj natančnimi (rdeča krivulja). $\bar{x}$ pomeni aritmetično sredino meritev, x'_i pa točno vrednost. Med seboj se razlikujeta za sistematsko napako M_i, kolikor znaša netočnost obeh krivulj.

4.5.2.3 Vertikalna/horizontalna natančnost

Če želimo učinkovito obravnavati kakovost DMR ali virov za izdelavo, potem je dobro uvesti pojma vertikalna (višinska, altimetrična) in horizontalna (planimetrična, prostorska) natančnost. Vertikalna predstavlja v tem primeru tematsko, horizontalna pa položajno natančnost. Kljub temu, da sta vertikalni in horizontalni koordinatni sistem (razdelek 4.4.8.3) med seboj formalno ločena, in da DMR obravnavamo kot zvezno ploskev nad ravnino, vertikalna (atribut *H*) in horizontalna (ravnina *xy*) sestavina natančnosti nista enostavno ločljivi.

Horizontalno sestavino *natančnosti* določimo glede na kakovost pozicioniranja podatkov in je navadno (zaradi tehnik merjenja) precej boljša od vertikalne sestavine. Poleg tega horizontalna natančnost v večini primerov manj vpliva na kakovost DMR kot vertikalna, še posebej na manj razgibanem površju. Mnogo bolj pomembna je sestavina *vertikalne natančnosti*. V večini primerov lahko napako horizontalnega položaja zanemarimo, ali pa njen vpliv poenostavljeno pripišemo vertikalni napaki.

Pri horizontalni natančnosti je treba upoštevati tudi odvisnost podatkov od kartografskega merila izvornih podatkov. Pomembna je tudi ločljivost celične mreže (rastra) izdelanega DMV ter gostota razpršenih virov. Vedeti moramo, kako lahko nehomogena razporeditev virov vpliva na kakovost modela (razdelek 4.2.2). Tovrstna horizontalna (lahko tudi vertikalna) natančnost se nanaša na čvrstost in homogenost podatkov.

4.5.2.4 Sistematske/grobe/naključne napake

Prostorskih podatkov brez napak na žalost nikoli ni na razpolago. Kadar kakovost določenih podatkov ne ustreza postavljenim pravilom, govorimo o napakah (Wood in Fisher 1993). Napake pojmujemo torej kot posledico prevelikih in nedovoljenih razlik med modelom in področjem obravnave. Delimo jih v tri osnovne skupine: sistematske napake, grobe napake in naključni odkloni.

Sistematske napake (sistematične) so navadno predvidljive in v boljših primerih celo istega predznaka ali iste vrednosti. Teoretično je sistematska napaka srednja vrednost, ki bi jo dobili iz neskončnega števila meritev iste merjene veličine, pod pogoji ponovljivosti, minus prava vrednost (*USM* 1999). S ponavljajočimi se meritvami jih ne moremo odstraniti (Li 1998). Tipične so npr. napake interpretacije površja zaradi poraslosti, zgradb ali senc pri fotogrametričnih metodah (Russell in Ochis 1995; Russel et al. 1995; *USGS* 1998) in so odvisne od metodologije izdelave (López 1997). Odstranimo jih lah-

ko s poznavanjem točnih podatkov. Vsebino podatkov pri tem premikamo (translacija), rotiramo, spreminjamo merila ipd. Pomagamo si lahko tudi s popravki enega niza podatkov, npr. pri upoštevanju praga dovoljene avtokoreliranosti ploskev reliefa. Kadar sistematska napaka ni dovolj jasno določena, si lahko pri njeni odstranitvi pomagamo tudi z uporabo naključnih ploskev.

Grobe napake lahko nastanejo zaradi slabega delovanja instrumenta za merjenje nadmorskih višin, malomarnosti ali neizkušenosti operaterja, npr. pri čitanju atributov višin. Po pravilu jih odstranimo po odstranitvi sistematskih napak. Uveljavljena mera za ločitev grobih napak od naključnih je trikratna vrednost standardnega ali dovoljenega odklona. Pri DMV vpliva groba napaka v odvisnosti od interpolacije na okolico približno desetih mrežnih celic (López 2000).

V tretjem primeru raje govorimo o *naključnih odklonih* (slučajnih) kot o napakah. V tem primeru pravzaprav ne gre za napake, temveč za razpršenost kot stopnjo nedoločenosti meritev okoli prave vrednosti, področja obravnave (oz. okoli povprečne vrednosti meritev). Poleg tega ima pojem napake negativen prizvok, ki nas navaja na popravljanje nečesa (Goodchild 1995, 66). Naključni odkloni so različnega predznaka, pogosteje majhni kot veliki, nepredvidljivi ter se podrejajo določenim statističnim zakonom. Navadno predpostavljamo, da imajo naključni odkloni lastnosti normalno porazdeljene naključne spremenljivke. Naključni odkloni ostanejo po odstranitvi sistematskih in grobih napak. Ne moremo jih odstraniti naknadno, lahko pa jih zmanjšamo s kakovostnejšimi meritvami. López (1997) predpostavlja, da sta dva tipa naključnih napak, in sicer v obliki konice (na zelo majhnem območju) in v obliki piramide (v tem primeru je napaka do določene stopnje avtokorelirana).

4.5.2.5 Napake izvornih/izvedenih podatkov

Pri ugotovljenih napakah ni dovolj vedeti le, v katero skupino spadajo in, ali jih je možno odpraviti. Učinkovito jih lahko odpravimo, če vemo, kako je do njih prišlo. Pozorni moramo biti, da so kakovosti virov, izvedbe analiz in modeliranja dovolj visoke, saj sicer ne moremo pričakovati DMR visoke kakovosti. Vedeti moramo, da nizka kakovost izvornih podatkov virov pogojuje tudi nizko kakovost izdelkov – DMR (Burrough in McDonnell 1998, 239). Izjemoma lahko dobimo dobre izdelke pri nizki kakovosti virov le, če dobro poznamo naravo izvornih podatkov, če torej vemo kakšen vpliv imajo lahko na kakovost analiz in izgradnjo modelov ter če znamo napake odpraviti (glej Östman 1996; Burrough in McDonnell 1998, 221). Pogosto pa je težko ugotoviti, ali je npr. napaka proizvod slabe izvedbe ali tehnike zajema vira. Pri tehnikah daljinskega zaznavanja npr. uporabnik nima možnosti izbiranja točk za zajem. V takih primerih lahko pomaga samodejno filtriranje napak, vendar je pogosto ročno popravljanje še vedno nujnost (Lemmens 1999a). V odvisnosti od narave podatkov ločimo napake izvornih podatkov in napake izvedenih podatkov.

Napake izvornih podatkov lahko imenujemo tudi vgrajene ali primarne napake, saj so vgrajene v originalne vire. So predvsem geometrijske (položajna natančnost) in tematske narave (tematska natančnost). Nastanejo pri zajemu izvornih podatkov glede na metodologijo meritev, sprememb v naravi itd. Najdemo jih v izvornih dokumentih (Openshaw et al. 1991) in večinoma niso povezane z operacijami med podatki (Burrough 1986; Bernhardsen 1992).

Če se posamezni pregledni elementi kakovosti (razdelek 4.5), torej nameni, uporabe in porekla med seboj razlikujejo, potem otežijo ugotavljanje raznih, predvsem položajnih napak izvornih podatkov (glej tudi Nackaerts et al. 1999):

- napake, ki jih naredimo na terenu ter napake, ki jih napravimo v pisarni;
- napake pri merjenju (npr. pristranskost, različni instrumenti, slaba izurjenost operaterjev), pri izbiri postopka meritve (npr. triangulacija ali trilateracija za položaj v ravnini in geometrični nivelman za merjenje višin kot ena najnatančnejših metod geodetskih opazovanj), pri načinu signalizacije itd.;
- napake zaradi pretvorb in transformacij (med kartografskimi projekcijami, vektor – raster, interpolacija, generalizacija, geokodiranje ipd.);
- napake pri določanju pomembnosti podatkov, ki jih izberemo za zajem (izhajajo iz modela kakovosti);
- napake zaradi spreminjanja prostorskih podatkov ter zaradi različne kakovosti kartografskega gradiva (npr. nehomogenost vsebine) zaradi topološke strukture;
- napake digitalizacije kart (izvor karte, digitalni prikaz itd.).

Napake izvedenih podatkov so napake operacij ali sekundarne napake, ki se pojavijo pri prostorskih analizah in modeliranjih. Na pogled so podobne napakam izvornih podatkov, le da gre pri njih za napake, ki so proizvod prenosa že storjenih napak. Pri tem omenimo dve tipični skupini operacij, pri katerih se pojavlja prenos predvsem položajnih in tematskih napak (Giordano in Veregin 1994):

- *prekrivanje* (rastrskih – matematično in logično prekrivanje; vektorskih) slojev,
- določanje *območij evklidske oddaljenosti*.

Zaradi narave (napak) mejá lahko po teoriji mehke logike prekrivanje posameznih območij pojmujemo kot 'mehka območja' (Zimmermann 1991). Na napake določanja mejá vpliva tudi fraktalnost, kot njihova značilnost. Druge pomembnejše napake izvedenih podatkov se pojavljajo pri naslednjih operacijah (Torlegård et al. 1982; Giordano in Veregin 1994; Burrough in McDonnell 1998, 223):

- numerične računalniške operacije (napake ali omejitve računalniškega prikaza števil – zaokroževanje, računanje inverznih matrik),
- topološke analize,
- interpolacija,
- generalizacija podatkov (pomembni sta porazdelitev in gostota podatkov),
- rastriranje vektorskih slojev (pomembna je ločljivost celične mreže),
- klasifikacija in preklasifikacija podatkov itd.

4.5.2.6 Nedoločljivost

O nedoločljivosti govorimo, ko nimamo na razpolago dovolj kakovostnih podatkov za določitev področja obravnave (Li 1998). V tem primeru podatkov sploh ne moremo testirati in jim ne moremo določiti natančnosti/točnosti, in s tem tudi ne kakovosti. Nedoločljivost je manjša, če imamo na razpolago podatke določene zanesljivosti (razdelek 4.5.2.4). Pogosto se pri obravnavanju nedoločljivosti podatkov uporablja teorijo mehke

logike (Wenzhong et al. 1994; Burrough in McDonnell 1998, 242). Več o določanju območij nedoločljive kakovosti je v dodatku B.2.1.5.

4.5.3 Kontrola kakovosti DMR

Pri procesu izdelave DMR iz obstoječih podatkov so zelo pomembne informacije o predhodni (a priori) in dejanski (a posteriori) kakovosti virov. Predvsem glede na nekatere dejansko opravljene kontrole virov lahko predvidimo napake v odvisnosti od metode obdelave in izvedemo predhodno oceno kakovosti izdelka DMR. Poznati moramo torej naravo napak virov, njihovo obnašanje in prenašanje pri modeliranju DMR ter navsezadnje pri nadaljnjih analizah. Ko je DMR izdelan, sledi dejanska kontrola kakovosti. Končna ocena je sestavljena predvsem iz dejanske ocene, na območjih nedoločljivosti pa lahko privzamemo predhodno oceno kakovosti.

Zelo pripravno bi bilo, če bi programi za izdelavo DMR ter splošneje – GIS omogočali prikaz geografskih podatkov in njihove kakovosti. Vendar je večina potencialno učinkovitih metod odkrivanja napak še vedno na ravni eksperimentov (Burrough in McDonnell 1998, 220). Prav grafični prikaz natančnosti, ki ga orodja za operacije s prostorskimi podatki omogočajo, je najlažje razumljiv potencialnim uporabnikom (Kraus 1994; Podobnikar 1998a) in predvsem omogoča učinkovito kontrolo kakovosti.

Za testiranje elementov kakovosti DMR uporabljamo tako *statistične* kot tudi *vizualne* metode testiranja in ocenjevanja (glej npr. Carrara et al. 1997). Pri tem so vizualne metode izjemno pomemben dejavnik za končno oceno kakovosti. Omogočajo pravilno interpretiranje informacij, kar pa je sicer precej odvisno od operaterja in njegovega dojemanja njihovega pomena (semantike) in obstoja (ontologije). Nekatere rezultate vizualne kontrole kakovosti lahko tudi upoštevamo pri metričnem – statističnem opisu, druge pa pri opisnem. Z vizualizacijo mnogo bolje razumemo oblikovanost površja in probleme pri izdelavi DMR. Pri vizualnih metodah kontrole kakovosti gre pogosto za ugotavljanje »kozmetične« popolnosti DMR. Prav odkrivanje napak z vizualizacijo daje možnost izboljšanja geomorfoloških lastnosti, pri čemer se statistični parametri navadno bistveno ne spremenijo.

Za ilustracijo podajamo primer pomembnosti vizualnih metod kontrole kakovosti podatkov. Denimo, da vsi statistični parametri kažejo, da je prvi testiran DMR boljši od drugega. Vendar pa na prvem DMR z opazovanjem le s težavo razločimo korita rek, površje je videti pretirano razgibano, poleg tega pa so opazne napake interpolacije in celo grobe napake. Pri drugem pa vizualno ne opazimo pomanjkljivosti. Kateri DMR je torej boljši? Težko je najti kriterije, ki bi dali primerno kompromisno rešitev. Morda je za analize v GIS boljši prvi, za kartografske namene pa drugi DMR.

Pri testiranju kakovosti DMR se je treba naslanjati na področje obravnave in pri tem preveriti naslednje osnovne zakonitosti:

- vodne površine morajo biti nižje od okolice, opazna mora biti obalna črta (gladine jezer, morja, rečna mreža; *USGS* 1998),
- oblika površja se mora vsaj v grobem ujemati z dejansko, kljub temu da so nekateri deli manj natančno izdelani,
- pretežno ravna površja morajo biti tudi v modelu pretežno ravna, brez lažnih značilnosti,

- (v Sloveniji) najnižja vrednost DMR ne sme biti nižja od gladine morja, najvišja pa ne višja od Triglava in
- preveriti je treba druge zakonitosti, ki jih imamo v podzavesti.

Med vizualnimi in statističnimi kontrolami kakovosti, ki so obravnavane v razdelkih 4.5.3.2 in 4.5.3.3, je treba pri izdelavi DMR izbrati najprimernejše. Z njimi izdelamo zahtevano oceno kakovosti, ugotovimo vzroke grobih in sistematskih napak (npr. vpliv vegetacije, stavb, napake pri branju in zapisu podatkov) ter jih poskušamo izločiti ali popraviti. Pri oceni je pomembna pravilna interpretacija kakovosti. Za odpravo napak je treba izbrati primerne tolerančne kriterije (pragove) glede na metodo ocene. Metapodatke o kakovosti je treba primerno urejati in shraniti.

4.5.3.1 Predhodna/dejanska ocena kakovosti

Še pred izdelavo DMR je treba vedeti, kakšno kakovost lahko pričakujemo in po drugi strani zahtevamo. Ko je DMR izdelan, pa je treba poznati njegovo dejansko kakovost. Oba dejavnika omogočata pravilno rabo izdelka. Pri tem ločimo metode predhodnih (a priori, preliminarnih) ocen kakovosti in metode dejanskih (a posteriori, naknadnih) ocen kakovosti (Peterca et al. 1974, 509).

Metode *predhodnih ocen* kakovosti temeljijo predvsem na podrobnem poznavanju namena, uporabe in porekla virov ter izdelkov. Pri tem je smiselno upoštevati geomorfološke značilnosti površja in vpliv interpolacijskih metod na modeliran DMR (Rihtaršič in Fras 1991, 61). Predhodna ocena kakovosti podatkov po posameznih (delnih) postopkih izdelave pomaga pri izbiri čim boljšega modela oz. celotnega postopka izdelave DMR. V primeru uporabe obstoječih virov nimamo vpliva pri določanju metode zajema virov. Vseeno pa je pri tem pomembno poznati metode zajema in uporabiti primerne metode ocene kakovosti. Ker nas najbolj zanima predhodna ocena kakovosti izdelka, torej DMR, je smiselno dejansko analizirati vire in glede na rezultate izluščiti predhodno oceno za DMR. Osnovni kriteriji predhodnih in dejanskih ocen virov ter predhodnih in dejanskih ocen DMR so opisani v razdelku 4.5.2.5.

Dejanske ocene kakovosti dobimo s primerjavo dejanskih podatkov s področjem obravnave oz. s čim bolj točno določenimi referenčnimi podatki, ki ne vsebujejo napak. Najboljši referenčni podatki naj bi bili naključno in približno enakomerno porazdeljeni po površju. Največkrat pa imamo na razpolago le npr. geodetske točke, ki jih lahko privzamemo za referenčne, če so dovolj naključno in enakomerno porazdeljene in če vsebujejo relativno majhne napake. Pomožen referenčni podatek za oceno je lahko DMV visoke natančnosti (in točnosti), vendar moramo biti v tem primeru še posebej pazljivi. Vizualne in statistične metode testiranj so podrobneje opisane v razdelkih 4.5.3.2 in 4.5.3.3 ter praktično ovrednotenje virov v dodatku C.

4.5.3.2 Metode vizualne kontrole parametrov kakovosti

Prva ocena kakovosti prostorskih podatkov, naj bodo to enostavne risbe ali zapleteni prostorski prikazi, je po pravilu vizualna (grafična). Take ocene temeljijo na izdelavi različnih postopkov vizualizacije (Wood in Fisher 1993). Včasih smo si podatke ogledovali in jih ocenjevali na listu papirja, danes pa jih opazujemo na računalniškem zaslonu (Burrough in McDonnell 1998, 220) ali s pomočjo drugih navideznih tehnik. Pri vizualni oceni kakovosti in izdelavi DMR pomaga tudi dobro poznavanje dejanskega zemeljskega površja.

Vizualne kontrole kakovosti prostorskih podatkov, v našem primeru DMR, so bile do nedavnega preveč zanemarjane. Vzrokov za to je več. Pomembnejša sta dva, in sicer nezmožnost učinkovite vizualizacije zaradi nezmogljive računalniške opreme ter omalovaževanje vizualizacije kot metod, s katerimi naj se ukvarjajo kartografi. Pri tem je res, da je v kartografiji vizualni izgled mnogo pomembnejši kot pri digitalnih podatkih, kateri se večinoma uporabljajo za analize. Trditi si upam, da postajajo vizualne metode kakovosti digitalnih podatkov (kamor spada tudi DMR) vedno bolj enakovredne statističnim, v primerni kombinaciji z njimi pa pogosto tudi učinkovitejše.

Metode *vizualne kontrole kakovosti* imenujejo nekateri *semantične*, saj gre pri tem lahko za precej subjektivno obarvane ocene pomena prostorskih podatkov. Glede na to, da lahko z njimi učinkovito opazujemo morfološke značilnosti zemeljskega površja, jih lahko imenujemo tudi *geomorfološke* ali celo geografske. Pri vizualnih kontrolah kakovosti se v nadaljevanju ukvarjamo z naslednjimi skupinami ovrednotenj:

- kontrola videza virov (in DMR) ter iz njih izdelanih slojev,
- primerjava pri prekrivanju posameznih slojev,
- vizualno ovrednotenje statističnih testiranj,
- neprostorske vizualizacije statističnih testiranj ter
- druge metode, ki ne spadajo med prej naštete skupine.

Najprej se ustavimo pri *kontroli videza* virov (in DMR) ter iz njih izdelanih slojev. Pri tem največkrat uporabljamo t. i. plastične metode, lahko pa tudi geometrične (npr. prikaz plastnic) ter kombinacije obeh pristopov. V nekaterih primerih je učinkoviteje sloje pred vizualizacijo (pre)klasificirati. K metodam vizualizacij s kontrolo videza spadajo tudi možnosti primerjav vseh slojev med seboj na tak način, da jih postavimo drug poleg drugega. Nekatere metode za kontrolo videza so naslednje:

- prikaz naklonov, ekspozicije (občutljivosti na manjše napake zaradi metode interpolacije), ukrivljenosti (velike občutljivosti na visokofrekvenčne razlike površja; Wood in Fisher 1993), (razgibanosti) površja, dimenzij (značilnosti) DMR v smislu fraktalnosti (Li 1998; Cheng et al. 1999), zgoščene celične mreže (slika 28), stroškovnih ploskev ipd.:
  - s hipsometrično barvno lestvico,
  - s samodejnim senčenjem; prikaz je nekoliko podoben kot uporaba visokopropustnega filtra, deloma pa tudi prikazom naklonov; kontrast senc lahko spreminjamo,
  - z diskromatsko barvno lestvico po t. i. tehniki bipolarnega diferenciranja; uporaba linearne ali nelinearne lestvice, ki se kar najbolje prilagaja normalni porazdelitvi napak (Wood 1996; podobno tudi Rieger 1992);
- označitev območij prekrivanja posameznih slojev med seboj, med njimi tudi vizualizacija razlik pri medsebojnem odštevanju;
- označitev napak z visokopropustnim (lokalnim) filtrom, še posebej stikov slojev in nepravilnosti na ravnih območjih;
- označitev porazdelitve značilnih točk, črt in območij (vrhov, dnov vrtač, sedel, grebenov, dolin, razvodnic itd., pa tudi plastnic; Li 1998); ugotavljanje pravilnosti porazdelitve ter lažnih struktur; uporaba metod za odkrivanje na osnovi DMR ali plastnic;

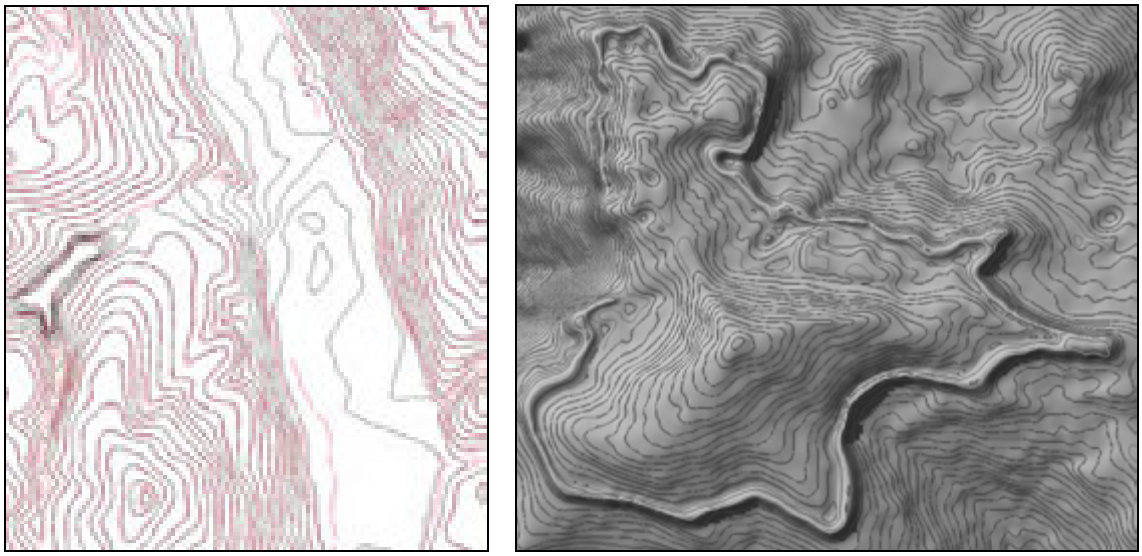
- prikaz plastnic iz kartografskega gradiva ali neodvisen prikaz samodejno ustvarjenih plastnic (Ackermann 1978; Ivačič 1996; Carrara et al. 1997); podoben prikaz lahko izdelamo za hidrološko mrežo iz kartografskega gradiva ali za samodejno ustvarjeno hidrološko mrežo;
- označitev napak meja (npr. ob upoštevanju območij gozdov pri analizah) pri uporabi mehke logike (glej npr. Burrough in McDonnell 1998, 278) z vizualizacijo.

Slika 28: DMR 100 s prvotno ločljivostjo (levo) in po zgostitvi celične mreže na 20 m (z metodo zlepkov; desno) za testno območje Triglava /4/ (6000 krat 3000 m). S krogom je označena groba napaka, ki se jo da opaziti šele na desni sliki.

Zgoraj opisane metode izdelav in prikazov posameznih slojev so neprimerno učinkovitejše, če posamezne sloje medsebojno prekrivamo. Poglejmo si nekaj vizualnih kontrol *s primerjavo pri prekrivanju posameznih slojev*:

- prekrivanje slojev hipsometrične barvne lestvice, senc in samodejno ustvarjenih plastnic DMR ter plastnic iz kartografskega gradiva; tako metodo uporabljajo npr. v BEV na Dunaju pri kontroli njihovega državnega DMR; lahko pa prekrijemo plastnice iz kartografskega gradiva in samodejno ustvarjene plastnice (podoben prikaz obeh primerov je na sliki 29; glej tudi Ivačič 1998);
- prekrivanje sloja plastnic prek hipsometrične barvne lestvice, senc, ekspozicije, naklonov ali ukrivljenosti, izračunanih iz DMR; položaj plastnic je neposredno odvisen od omenjenih elementov DMR (Hutchinson in Gallant 1998, 114);
- prekrivanje plastnic kartografskega gradiva ter iz njih izdelanih značilnih točk, črt in območij; plastnice lahko prikažemo z metodo barvne alternacije tako, da jih hierarhično obarvamo (slika 30);
- prikaz hidrološke mreže, izdelane s hidrološkimi analizami (Hutchinson in Gallant 1998, 113; Wood 1996) pri upoštevanju vrtač; prekrivanje in primerjava s hidrološkimi podatki iz kartografskega gradiva;
- prekrivanje plastnic iz kartografskega gradiva prek DMR, izdelanega iz njih (Carrara et al. 1997); v vsakem primeru, tudi če DMR ni izdelan le iz plastnic ali pa sploh ne iz njih, so plastnice zanimive za dodatno kontrolo DMR;
- prikaz samodejno ustvarjenih značilnih črt in točk (ali območij) skupaj s plastnicami; sledi kontrola medsebojnega ujemanja (slika 30);
- uporaba slojev, ki nimajo neposredne povezave z izdelavo DMR, kot so satelitski, aero- (ortofoto) in drugi posnetki ter kartografsko gradivo; prek ortofota se da npr. učinkovito prikazati območja napak ali slabo določljive kakovosti (Wiggenhagen 2000);

- prekrivanje slojev z upoštevanjem Bayesove logike (Skidmore 1997, 454); pri prekrivanju se upošteva predhodno in dejansko znanje (Eastman 1997);
- perspektivni prikaz na osnovi DMR ali kakega drugega sloja; kot ogrodje lahko uporabimo TIN, mreže točk, žične modele ipd.:
  - odstopanje dveh različno modeliranih DMR;
  - DMR in prek njega napet ortofoto (ali kaka druga podoba), na katerem lahko hitro opazimo grobe napake (Wiggenhagen 2000); primerjamo ga lahko tako, da zraven položimo s hipsometrično barvno lestvico obarvan relief (Wood 1996); dodatno lahko uporabimo prikaz s potencialno vidnostjo, izdelano s simulacijo Monte Carlo (slika 11) ali pa plastnice.

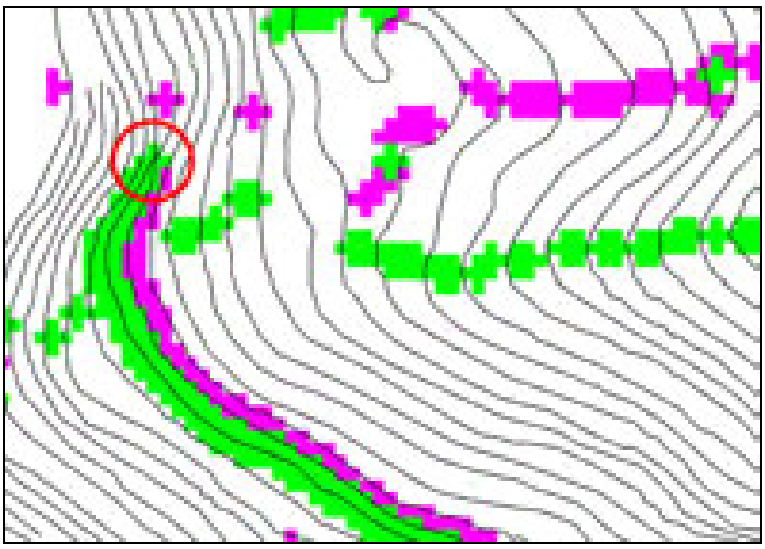


Slika 29: Vizualna metoda kontrole kakovosti za odkrivanje grobih napak plastnic. Levo: primerjava originalnega poteka plastnic GKB-reliefa (sivo) in izvedenih iz modela reliefa, izdelanega iz njih (rdeče). Desno: kombinacija samodejnega senčenja DMR iz originalnih plastnic GKB-reliefa in prikaza omenjenih plastnic.

Naslednji je sklop metod *vizualnega ovrednotenja statističnih testiranj*, med katere spadajo:

- metode Monte Carlo; pri tem je koristno predhodno izvesti čim bolj realen preizkus z dejanskimi podatki; metode so naslednje:
  - simulacija vidnosti pri upoštevanju napak DMR (Fisher 1996; Podobnikar 1998a; Burrough in McDonnell 1998, 200; Heuvelink 1998; Nackaerts et al. 1999); dodatna možnost je, da upoštevamo več modelov napak ali več različnih natančnosti ter vključimo tudi spremenljivko vpliva vegetacije in naklonov površja;
  - simulacija napak naklonov (in ekspozicij) površja glede na napake DMR (Felicísimo 1994; Heuvelink 1998) in simulacija napak naklonov na TIN (Canters 1994);
  - iskanje optimalne poti glede na nezanesljivost določitve nadmorske višine; poraba energije pri gibanju (Ehlschlaeger in Shortridge 1996);
  - simulacija napak hidrološke mreže; izkazalo se je, da že majhne napake modela reliefa močno vplivajo na izračun hidroloških značilnosti (Lee

1996); na napake vpliva tudi prostorska porazdelitev vzorca napak ter naklon površja (manjši naklon – večje napake so možne; Veregin 1997);



Slika 30: Napaka križanja plastnic (rdeč krog), ki se kaže kot lažna kombinacija grebena (vijolično) in doline (zeleno) pri samodejnem ustvarjanju območij grebenov. Celična mreža ima ločljivost 10 m in je bila izdelana s kombinacijo metod SIFI in LIDIC.

  - podobno, kot v prejšnji alineji obravnavane napake hidrološke mreže, je smiselno testirati tudi meje porečij – glej ugotovitve v Hutchinson in Dowling (1991) ter Wood (1996), kjer sicer ni povezave z metodami Monte Carlo; tudi testiranje dolžin vodotokov, značilnih črt in točk ipd. (Burrough in McDonnell 1998);
  - simulacija napak plastnic (Peterca et al. 1974, 546);
  - simulacija za ovrednotenje primernih interpolacijskih parametrov (Burrough in McDonnell 1998, 152) ipd.;
  - pri zgoraj omenjenih metodah Monte Carlo je smiselno izvesti tudi teste značilnosti Monte Carlo, npr. s primerjavo simuliranih slojev in sloja, za katerega menimo, da je pravilen (Openshaw 1992; Podobnikar 1998a), ali pa s primerjavo distribucije napak glede na dejansko ugotovljene napake;
- izdelava fraktalnih ploskev (Wood 1996); metoda je uporabna za enake namene kot opisane metode Monte Carlo; spreminjanje fraktalnosti omogoča kontrolirano spreminjanje površja; pri tem lahko uporabljamo več metod;
- prikaz natančnosti in nedoločljivosti plastnic, izračunan z analitičnimi metodami (Tempfli 1980; Kraus 1994);
- odstopanje referenčnih točk od ploskve DMR, kar lahko prikažemo s »paličicami«, še najlepše v perspektivnem pogledu;
- prikaz naklonov DMR na območjih črt železnic (GKB-železnice) ali cest (GKB-ceste); če jih položimo prek DMR, lahko izračunamo naklone v smereh črt, ki jih potem vizualiziramo; označimo torej območja, kjer nakloni presegajo postavljen prag.

In še nekaj metod *neprostorske vizualizacije statističnih testiranj*:

- histogram nadmorskih višin (Li 1998) ali ekspozicij in ukrivljenosti površja (Hutchinson in Gallant 1998, 114):
  - vizualno ugotavljanje morebitnih nepravilnosti pri opazovanju frekvenc, kot je npr. izrazito zbiranje nadmorskih višin okoli določenih vrednosti; histogram mora biti čim bolj zvezen glede na zvezno ploskev DMR (glej tudi sliko 63);
  - histogram relativnih nadmorskih višin (relativni histogram), ki je uporaben predvsem za DMR, izdelan iz plastnic; nadmorske višine vsakega intervala plastnic normiramo na vrednosti od nič do vrednosti ekvidistance; večja pravokotnost histograma pomeni večjo kakovost DMR (Carrara et al. 1997; glej tudi sliko 64);
- matrika sodogodka (angl. co-occurrence) za preučevanje zgradbe objektov; sicer se uporablja za analizo sivotonskih slik; na absciso nanesemo npr. nadmorsko višino, na ordinato pa povprečno nadmorsko višino bližnje okolice; z opazovanjem dobimo vpogled v avtokorelacijo ploskve, ki je večja, če se vrednosti zbirajo okoli glavne diagonale (Wood in Fisher 1993).

In še nekaj *drugih* metod vizualne ocene, ki ne spadajo v prej naštete skupine:

- prikaz profilov reliefa;
- opazovanje izrisovanja plastnic (ali slojev DMV) na »počasnih« računalnikih; v primeru znanega vrstnega reda izrisa, npr. hierarhičnega, od glavnih do pomožnih plastnic, lažje odkrivamo morebitne grobe napake (glej tudi Dobravec 2000);
- označevanje plastnic iz kartografskega gradiva z oznakami nadmorskih višin (Hutchinson in Gallant 1998, 114).

4.5.3.3 Metode statistične kontrole parametrov kakovosti

Metode statistične kontrole parametrov kakovosti so bolj »oprijemljive«, torej manj subjektivne od vizualnih kontrol. Rezultati testiranj so zapisani numerično in jih je možno nadalje analizirati. Nekateri imenujejo statistične kontrole kakovosti tudi *geometrijske*, saj gre za topografski opis odvisnosti posameznih objektov DMR, ali pa *matematične*, ker gre za matematične prijeme. Najpogostejša pristopa pri statističnih kontrolah kakovosti sta *analitični* in *empirični*. Analitični pristopi so uporabni predvsem v primerih, ko ni na razpolago referenčnih podatkov za testiranje. Kot lahko vidimo v razdelku 4.5.3.2, se statistične metode lepo dopolnjujejo z vizualnimi. Nekaj pravil, ki jih uporabljamo za načrtovanje prostorskih analiz (Lovett 1995), so dobro izhodišče za splošna načela statističnih kontrol kakovosti DMR, ki so (glej tudi razdelek 4.5.3.1):

- za testiranje je treba uporabiti čimbolj neobčutljive in neodvisne podatke, ki so vsaj na ravni zahtevane stopnje zanesljivosti;
- več vzporednih kontrol kakovosti omogoča zanesljivejše podatke o kakovosti;
- natančnost interpretacije rezultata je odvisna od poznavanja prostorskega vzorca napak (npr. od razpršenosti, zbiranja v gruče ali povezanosti).

Metode statistične kontrole ločimo v nadaljevanju disertacije glede na možnost kontrole na naslednji skupini podatkov:

- brez referenčnih podatkov;
- z referenčnimi podatki (Martinoni in Bernhard 1998) kot so:
  - referenčni sloji in
  - referenčne točke.

Najpomembnejše pri tem je ovrednotenje DMR ter virov, pogosto pa je pomembno tudi ovrednotenje drugih izdelkov, predvsem naklona površja, ekspozicije in razgibanosti. Najprej obravnavamo metode oz. parametre ovrednotenja DMR (ali virov) *brez referenčnih podatkov*, in sicer:

- *aritmetična sredina* nadmorskih višin, naklonov ipd.;
- *standardni odklon* σ nadmorskih višin, naklonov ipd.;
- *kovariantna funkcija* za nadmorske višine, naklone in prostornine – več metod je opisanih v Östman (1987a);
- *rangiranje* (minimum, maksimum); vrednosti nadmorskih višin v Sloveniji ne smejo biti pod 0 m in ne nad 2864 m;
- ugotavljanje *homogenosti* nekaterih delov površja; morje mora imeti vrednosti 0 m, jezera morajo imeti konstantne vrednosti nadmorske višine ipd.;
- ovrednotenje *razgibanosti* površja:
  - uporaba *Koppejeve formule* in nadgradnje z drugimi koeficienti; povezava koeficientov s kontrolnimi maksimalnimi ali pričakovanimi vrednostmi na posameznih območjih (Ackermann 1978; Kraus 1994);
  - *avtokorelacijska analiza*; koeficient avtokorelacije lahko računamo za celotno območje ali več lokalnih (tudi za naklone in ekspozicije površja; Lee in Marion 1994); v splošnem morajo imeti koeficienti avtokorelacije pri DMR pozitivno vrednost; analize lokalne avtokorelacije so podobne analizam s koeficienti razgibanosti; druge uporabne lokalne metode so tudi opisi z variogrami in korelogrami (Wood 1996; López 2000);
  - *merjenje fraktalnih dimenzij* površja (Wood 1996);
  - izračun *ukrivljenosti* površja z razliko med sosednjimi mrežnimi celicami DMR;
- *metode Monte Carlo*; analize vpliva privzetih nedoločnosti podatkov višin s specifičnimi aplikacijami (Goodchild 1995, 77; Fisher 1996); pri tem upoštevamo tudi avtokorelacijo napak z ustrezno funkcijo; splošno znano je, da so fotogrametrično obdelani podatki zelo avtokorelirani (Östman 1993), kar je treba upoštevati tudi pri plastnicah, zajetih iz kartografskega gradiva;
- *metoda grobe ocene* temelji na statističnem izločanju tistih točk, ki preveč odstopajo od ploskve DMR (niso dovolj avtokorelirane), interpolirano z izbrano metodo in parametri (*SCOP* 1999; Ecker 1999);
- *metoda ugotavljanja napak glede na okolico* DMR; uporablja hipotezo idealnega nadzornika (angl. perfect inspector); ta predpostavlja, da lahko odpravimo odkrito napako; v praksi pomeni, da algoritem med zajemom DMR iz stereoparov opozori na možno napako; druga varianta je hipoteza neidealnega nadzor-

nika, ki označuje možne napake po izdelavi DMR; odkrivanje in odprava grobih napak se izvajata iterativno; po enostavni metodi se ugotavlja, ali je obravnavana točka dovolj avtokorelirana glede na okoliške, pri zapletenejši in boljših pa se uporablja metoda analize osnovne sestavine (angl. principal component analysis PCA); ugotovljeno je bilo, da je pri DMR največ do 15 % vseh podatkov z grobimi napakami ter do 3 % s sistematskimi; razmerje med naključnimi, sistematskimi in grobimi napakami je odvisno od konkretnega primera (López 2000);

- kompleksna analitična metoda *spektralne analize reliefa* temelji na analizi gostote virov, napak meritev virov ter interpolacije in upošteva razgibanost površja (Tempfli 1980; 1999b); podobne analize sta izvajala tudi Frederiksen in Jacobi (1980); z odpravljanjem sistematskih napak s spektralnimi in drugimi analizami so se ukvarjali za izboljšavo DMV GTOPO30 USGS (Russel et al. 1995; Russel in Ochis 1995);
- *analize občutljivosti* raziskujejo spreminjanje nekaj osnovnih parametrov DMR, kot je velikost mrežne celice ali horizontalna in vertikalna ločljivost (Martinoni in Bernhard 1998);
- metode, ki spadajo med *topološke kontrole*:
  - ugotavljanje, če imajo stičišča plastnic enake atribute; odvisno od zapisa plastnic tudi preverjamo, če ima posamezna plastnica vse višine enake;
  - iskanje morebitnih presečišč plastnic (vključeno npr. v program SCOP), nezaključenih območij jezer ipd.;
  - ugotavljanje morebitnih plastnic ali točk z enakimi koordinatami, vendar različnimi nadmorskimi višinami kot posledica napak pri zajemu;
  - kontrola, če ima plastnica le eno točko, da je torej geometrično pravzaprav točka;
- metode *ugotavljanja nepravilnosti*, npr. prevelikega naklona površja ali nepravilnosti značilnih črt; metode so zelo enostavne in izjemno pomembne; lahko so polsamodejne (program SCOP npr. omogoča iskanje in prikazovanje največjih odklonov ter omogoča istočasne popravke) ali samodejne;
- metoda *ugotavljanja razlik višin sosednjih plastnic* in označitev ter nato popravki tistih, pri katerih so te višine prevelike (Larson 1996);
- metode ugotavljanja gostote virov – točk in črt.

Osnovni kriterij izbire podatkov za *kontrolo kakovosti z referenčnimi podatki* je, da morajo biti vsaj tako dobri ali boljši od načrtovane kakovosti DMR (*USGS* 1998). Pomembno tudi je, da so podatki za testiranje čim bolj reprezentativni (in da jih je dovolj), torej enakomerno in značilno porazdeljeni v prostoru ter na robovih testiranega območja. Metode primerjave DMR z referenčnimi podatki dajo najpomembnejše parametre testiranja kakovosti. Kontrole kakovosti z referenčnimi podatki imenujemo izkustvene ali empirične (Tempfli 1999b). Potencialni referenčni podatki testiranja DMR so v splošnem naslednji:

- zvezni referenčni sloji:
  - referenčni DMR/DMV (zelo učinkovito v primeru visoke kakovosti sloja),
  - drugi referenčni sloji, največkrat izvedeni iz referenčnega DMR/DMV;

- referenčne točke ali črte:
  - sistematsko in čim bolj enakomerno oz. naključno zajete točke (najboljše),
  - geodetske točke, točke aerotriangulacije, kóte s kart (navadno so neenakomerno porazdeljene),
  - plastnice iz kartografskega gradiva (navadno so dovolj enakomerno porazdeljene) ipd.

Najprej navajamo metode kontrol *z zveznimi referenčnimi sloji*. Upoštevaje vedno več podatkov, ki jih je na razpolago, je možno izdelati in uporabljati dovolj kakovosten referenčni DMR/DMV. Njegova poglavitna prednost je enakomerna porazdelitev testnih podatkov po celotnem območju. Problem je lahko, da za celotno območje izdelave DMR največkrat ni na razpolago zadovoljiva količina kakovostnih referenčnih slojev. V kontrolo DMR je smiselno vključiti referenčne DMR/DMV različnega izvora. Vemo namreč, da so npr. DMV iz radarskih satelitskih posnetkov na splošno slabši v gorah, DMV izdelani iz optičnih posnetkov pa so slabši na gozdnatih območjih. Še bolje je primerjati DMR z več referenčnimi DMR/DMV istočasno. Možne kontrole kakovosti DMR in izvedenih slojev, kot so nakloni in ekspozicije površja, z odgovarjajočimi zveznimi referenčnimi sloji, so naslednje:

- določitev srednjega odklona M, srednjega kvadratnega odklona m, rangiranje (minimum, maksimum) ipd.,
- izračun statistične kovariance, regresije, histogramov in druge metode primerjave dveh ali več skupin ploskev,
- izračun prostornin razlik.

Metode statističnih *primerjav z referenčnimi točkami ali črtami* so podobne opisanim primerjavam z zveznimi referenčnimi sloji. Osnovne razlike so:

- večja kakovost referenčnih točk in črt (prednost),
- pogosto neenakomerna in ne dovolj gosta porazdelitev (navadno je najmanj točk ravno tam, kjer je kakovost DMR že tako slabša),
- nezmožnost izdelave izvedenih slojev (npr. naklonov in ekspozicij površja).

4.6 METODE ZA ANALIZO IMPLICITNIH INFORMACIJ

Izdelan DMR vsebuje veliko število implicitnih informacij, ki jih lahko z ustreznimi analizami DMR izločimo in napravimo eksplicitne. Veliko metod za analizo implicitnih informacij je obravnavanih ali navedenih v drugih razdelkih. V splošnem lahko metode za analizo DMR in virov ločimo na (v povezavi z definicijo v razdelku 4.1.1):

- metode za *pridobivanje dodatnih* (zapisov) *podatkov* (npr. izračun značilnih točk, črt in območij reliefa ter drugih točk, ki so implicitno vsebovane v geomorfološko bogatem zapisu plastnic ali v DMR),
- metode za *analizo strukture zapisa DMR* (npr. metode za odpravo topoloških pomanjkljivosti),
- metode za *analizo DMR* (npr. naklonov in ekspozicij površja),
- metode za pridobivanje in *analizo informacij o kakovosti* (npr. kontrola kakovosti DMR z referenčnimi točkami).

Metode za *pridobivanje dodatnih podatkov* so obravnavane v razdelku 4.4.3. Nekatere metode za *analizo strukture zapisa* DMR ter za *analizo informacij o kakovosti* so obravnavane kot metode za kontrolo kakovosti podatkov v razdelku 4.5.3. Med metode za *analizo DMR* z zveznimi funkcijami spadajo metode za interpolacijo DMR (razdelek 4.4) ter vse druge, najširšemu krogu uporabnikom zanimive analize DMR. Med omenjene metode štejemo praktično vse, ki so vsebovane pri aplikativni uporabi DMR (razdelek 2.7).

V nadaljevanju obravnavamo nekaj metod za analizo DMR. Mednje sodijo izračun naklonov in ekspozicij površja (*SPRING* 1996), analize osončenosti (Gabrovec 1991; 1993; Clarke et al. 1995; Burrough in McDonnell 1998, 202; Podobnikar 1998a), vidnosti (Podobnikar 1998a; 1998b), iskanje značilnih elementov DMR (Wood 1996) in še mnoge druge metode. Posebej obravnavamo metodi analize implicitnih informacij, ki sta pomembni predvsem za izboljšanje virov pri izdelavi topografskih kart. Gre za *samodejno izdelavo senc reliefa* in *plastnic*. V tem primeru bi bil pomemben tudi prikaz DMR z metodo barvnih slojev, npr. s hipsometrično barvno lestvico ter alternativno, s kombinacijo senčenja, vendar se oboje že krepko nanaša na področje kartografije.

4.6.1 Samodejna izdelava senc reliefa

Ročno (klasično) senčenje reliefa izvira iz renesanse, ko so umetniki razvili karoskurno tehniko za prikaz trirazsežnih objektov (Kvamme et al. 1997, 133; Burrough in McDonnell 1998, 200). Prvo tehniko podobno današnjim je leta 1799 za senčenje reliefa uporabil Lehman (Clarke et al. 1995). Leta 1878 je Wiechel razvil teorijo o senčenju reliefa s poševno osvetlitvijo z enačbo intenzivnosti svetlobe glede na kot, pod katerim pada svetloba na ploskev (Marsik 1971). K razvoju analitičnega senčenja so največ prispevali avstrijski in švicarski kartografi. Prvi algoritem za senčenje je razvil Yoeli in uvedel pojem analitično senčenje. Bolj izpolnjena je Yoeli-Brasselova metoda senčenja iz leta 1965.

Računalniki omogočajo uveljavljanje tehnik samodejne izdelave senc reliefa. Algoritmi so podobni izdelavi slojev osončenja in deloma tudi izračunu vidnosti. Pri tem poskušajo karseda verno posnemati načela analitičnih metod senčenja. Najpomembnejši parametri metod analitičnega senčenja so (Gilman 1981; Rihtaršič in Fras 1991, 44; Debelak 1993; Clarke et al. 1995) upoštevanje zakonitosti atmosferske (aero) perspektive, odbojnosti svetlobe ter prilagoditev horizontalnega in vertikalnega kota osvetlitve glede na lokalni relief. V algoritme lahko vključimo uporabo različnih virov, barv, vpadnih kotov, jakosti in razpršenosti svetlobe ipd. Pomembno je tudi, da sence pravilno odražajo tudi material, ki ga osvetljujemo. DMR moramo za vizualno izboljšanje osenčenosti pred izdelavo senc primerno zgostiti in zgladiti, kar je podrobneje opisano v Debelak (1993) in Berk (1997).

Samodejna izdelava senc je uveljavljena metoda senčenja reliefa, ki se uporablja v analitične in predvsem kartografske (topografske) namene. Zanimivo je, da se tudi najboljše samodejne tehnike še niso povsod dodobra uveljavile. V Sloveniji so npr. že povsem izločile ročne tehnike, medtem ko v Avstriji (BEV) še vedno uporabljajo ročne. Pri tem zagovarjajo mnenje, da se s samodejnim senčenjem nikakor ne da tako prepričljivo prikazati reliefa kot z ročnimi tehnikami, saj je karta namreč polumetniški izdelek. Če je specialist za ročno senčenje poleg tehnika res tudi dober umetnik, potem zna prav goto-

vo izdelati prepričljivejši izdelek kot pa računalnik. Kljub obema diametralno različnima pristopoma se sam nagibam k tehniki samodejnega senčenja iz naslednjih razlogov:

- boljši DMR omogočajo izdelavo vedno bolj kakovostnih senc reliefa za vse večja merila;
- samodejna metoda je mnogo bolj ekonomična kot zaposlitev specialistov za ročno senčenje reliefa;
- kakovost sloja senc je neodvisna od operaterja.

Glede na različne uporabniške potrebe in zahteve senčenega reliefa je dober DMR najboljša osnova za to, da si vsakdo izdela želeni sloj s samodejnim senčenjem. Kljub vsemu bi ga bilo smiselno vključiti in vzdrževati v GKB (merilo 1 : 25.000) in TBVN (merilo 1 : 5000). Najbolje bi bilo sloj senc izdelati za največje merilo TBVN ter ga z metodami prevzorčenja po potrebi generalizirati v manjša merila.

4.6.2 Samodejna izdelava plastnic reliefa

O plastnicah je precej napisano tudi v drugih razdelkih disertacije. Kartografsko so plastnice zvezne in gladke krivulje, ki se lomijo le na prelomih reliefa oz. na črtah negladkosti DMR (Schut 1976). Definirane so s projekcijo na ravnino *xy* kot presečna črta med reliefom in določeno ravnino, vzporedno z *xy* (*SPRING* 1996). Pri enotni ekvidistanci je gostota plastnic odvisna od naklona površja. Pomembno je, da so plastnice zaključene, da se ne sekajo med seboj ter da ne sekajo vodnih površin.

Metod za samodejno izdelavo plastnic je bilo razvitih kar nekaj, vendar zaradi zahtevnosti precej manj, kot npr. za senčenje. Najpreprostejše in ne preveč dodelane tehnike so na osnovi celičnih mrež, boljše pa na osnovi TIN. Odlična tehnika, ki izdela kartografsko zelo pravilne plastnice, temelji na hibridni strukturi v programu SCOP. Ne glede na strukturo zapisa DMR, je mogoče plastnice dobro interpolirati s poligoni. Enostavnejše tehnike uporabljajo linearno interpolacijo (npr. Yoeli 1983). Predvsem pri drugih metodah je DMR nujno pred izdelavo zgostiti in zgladiti, kar poveča kakovost prikaza in hkrati nekoliko zmanjša natančnost njihovega poteka.

Testi so že pred mnogimi leti pokazali, da ima na natančnost izdelave plastnic mnogo večji vpliv kakovost DMR kot pa metoda njihove izdelave (Ackermann 1978, 1547). V namen omenjenega dokaza so bili testirani fotogrametrični (tako točkovni kot neposredni zajemi plastnic) in klasični – geodetski zajemi. Plastnice so bile zajete neposredno, ročno interpolirane med točkami ali pa interpolirane s samodejno metodo (v programu SCOP). Omenjen poskus potrjuje, da se iz digitalnih podatkov da izdelati dobre plastnice.

5 KONCEPT IZDELAVE DMR SLOVENIJE

Osrednji del doktorske disertacije je posvečen konceptu uporabe geodetskih podatkov različne kakovosti na primeru izdelave DMR Slovenije. Praktično želim preizkusiti postavljeno osnovno hipotezo, da je možno z modeliranjem izdelati DMR visoke kakovosti pri uporabi najrazličnejših prostorskih zbirk podatkov različne kakovosti. Koncept izdelave DMR se nanaša na analize izkušenj o izdelavi modelov reliefa, skupaj s poznavanjem kakovosti potencialnih virov, ter na teoretične osnove modeliranja podatkov reliefa. Pri tem standardnega odgovora, kako izdelati DMR iz obstoječih podatkov, na žalost ni.

Za izbrana manjša testna območja na ozemlju Slovenije so bili na razpolago reprezentativni viri različne kakovosti. Poleg zelo pomembnega izbora in priprave primernih virov s statističnimi in vizualnimi metodami sem pri procesu izdelave DMR izbiral med primernimi zapisi DMR v celično mrežo, TIN ali hibridno strukturo, določal parametre, metode interpolacije itd. V razdelku 3.3 so navedene nekatere možnosti izdelave DMR Slovenije iz podatkov različne kakovosti. Glede na najbolj obetajoče rezultate sta podrobneje analizirani dve izmed možnosti »vzporednega« prekrivanja obstoječih virov, in sicer *metoda hkratne interpolacije* in *metoda utežnega seštevanja*. Ves postopek izdelave DMR je z vidika upravljanja voden prek zbirke digitalnih podatkov reliefa (ZDPR).

5.1 SHEMA IZDELAVE

Shema opisuje koncept izdelave DMR Slovenije iz geodetskih podatkov različne kakovosti. Najprej je podrobneje navedena linearna shema, ki se v večji meri nanaša na strukturo poglavij disertacije. V shemo se vklapljata obe predlagani možnosti izdelave DMR, pri čemer so navedene najpomembnejše dejavnosti pri izdelavi DMR, ki se nanašajo na:

- aktivnosti pri pripravi za modeliranje DMR,
- predobdelava virov,
- obdelava DMR iz virov in
- upravljanje s podatki o reliefu.

Aktivnosti pri pripravi za modeliranje DMR:

- pregled modeliranj DMR v svetu in Sloveniji (poglavje 2):
  - pregled stanja v svetu,
  - pregled izdelave in uporabe s problemi v Sloveniji;
- ocena možnosti izdelave DMR Slovenije (poglavje 3):
  - analiza drugih slovenskih vizij izdelave,
  - analiza potencialnih uporabnikov in dejanskega izdajanja na GU,
  - analiza usmeritev in vizij v svetu,
  - postavitev osnovnih in aplikativnih ciljev izdelave,
  - analiza tehnologij izdelave iz podatkov različne kakovosti:
    - pregled tovrstnih izdelav v svetu,
    - druge, lastne ideje o izdelavi;
- pregled elementov modeliranja DMR (poglavje 4):
  - uporaba virov:
    - uporaba obstoječih virov,
    - dodaten zajem virov na območjih slabe kakovosti obstoječih virov;
  - analiza strukture:
    - viri ostanejo zapisani v obliki ali strukturi, odgovarjajoči organizaciji ZDPR,
    - hibridna struktura DMR, ki vsebuje raztresene točke ter značilne točke in črte,
    - neposredna izdelava DMV iz virov;
  - zvezne funkcije za opis:
    - preučitev in izbor metod interpolacije,
    - pregled možnosti izboljšanja kakovosti virov ter elementov predobdelave in obdelave DMR;
  - informacije o kakovosti:
    - preučitev in izbor metod za vizualne in statistične kontrole kakovosti,
    - preučitev parametrov, ki vplivajo na kakovost;
  - metode za analizo implicitnih informacij;
- samodejne regionalizacije Slovenije (razdelek 5.2.1, dodatek B, slika 31) – preučitev za:
  - spremljanje kakovosti,
  - predobdelavo,
  - obdelavo;
- predhodna ocena kakovosti potencialnih virov (razdelek 5.2.2, dodatek C):
  - pregled potencialnih virov za izdelavo DMR (elementi kakovosti),
  - upoštevanje obstoječih analiz virov;

- kodiranje virov (razdelek 5.2.3):
  - klasifikacija virov glede na strukturo ploskve površja, ki jo predstavljajo; raztresene in značilne točke ter oblikovne in lomne črte;
- pregled in izbor ustrezne programske opreme (dodatek D):
  - za modeliranje DMR,
  - za vodenje zbirke digitalnih podatkov reliefa (ZDPR).

Predobdelava virov (razdelek 5.3):

- dejanska ocena kakovosti izbranih virov ter izločanje/popravljanje grobih in sistematskih napak:
  - vizualna kontrola podatkov ter ročno popravljanje nekaterih grobih napak:
    - vektorski sloj plastnic GKB-reliefa,
    - drugi referenčni podatki in drugi viri;
  - izdelava referenčnega DMV (refDMV):
    - kombiniranje plastnic GKB-reliefa ter obstoječih DMV (DMR 25, DMR 100 in več lokalnih DMV),
    - kontrola kakovosti z vizualnimi in statističnimi metodami;
  - statistična kontrola referenčnih točk in drugih točkovnih virov ter samodejno izločanje grobih napak:
    - 'osnovna metoda'/'metoda varianc',
    - opisna statistika točk;
  - statistična kontrola virov, ki se jih da opisati z zveznim slojem, z odpravo sistematskih napak, lokalnim pripisom uteži glede na naključne odklone virov in določitvijo območij potencialnih grobih napak:
    - statistična kontrola natančnosti/točnosti potencialnih virov s parametroma standardnega/srednjega odklona glede na standardna območja kontrole kakovosti,
    - določitev in priprava celotnih ali delov virov (izrezovanje), uporabnih pri izdelavi DMR,
    - statistična metoda odpravljanja sistematskih napak virov glede na parametre statističnih kontrol,
    - statistična metoda določitve območij slabe ali lokalno nedoločljive kakovosti s testiranjem prekrivajočih se (sekundarnih) delov virov glede na referenčne točke,
    - pripis metapodatkov kakovosti obstoječim virom ter virom z odpravljenimi sistematskimi in grobimi napakami;
  - določitev ločljivosti celične mreže za DMR Slovenije (razdelek 4.2.2);
- dodajanje/reduciranje podatkov za geomorfološko izboljšanje DMR (gre za popravljanje porazdelitve virov v prostoru za boljšo interpolacijo ter ne za odstranitev grobih in sistematskih napak):
  - samodejno atributiranje podatkov:
    - iskanje presečišč med črtami podatkov in plastnicami;

- samodejno zgoščevanje podatkov plastnic z uporabo čim bolj točne metode interpolacije:
  - analogno selektivnemu vzorčenju – metode za ustvarjanje značilnih črt (npr. antropogene terase) in točk,
  - analogno stopnjujočemu vzorčenju – uporaba obstoječih podatkov na območjih večje razgibanosti površja;
- ročni zajem dodatnih podatkov (ne ujema se postavljeno osnovno hipotezo, vendar vseeno navajamo možnosti, s katerimi z relativno majhnimi stroški precej izboljšamo kakovost DMR):
  - atributiranje podatkov stoječih voda iz GKB-hidrografije z nadmorskimi višinami,
  - zajem nadmorskih višin značilnih točk (kót) z DTK 25,
  - zajem plastnic reliefa na območjih, kjer manjkajo (npr. z DTK 25 v GKB-reliefu) ter padnic,
  - fotogrametrični zajem kamnolomov, teras in drugih antropogenih elementov površja;
- samodejno reduciranje odvečnih podatkov:
  - izločanje istovrstnih podatkov (npr. ZK-točk) z gostoto, ki ne pripomore k boljši kakovosti DMR;
- samodejno spreminjanje geomorfološko nepravilnih podatkov:
  - izločanje raztresenih točk v neposredni bližini značilnih točk ter lomnih in oblikovnih črt (npr. odstranitev točke DMR 25 v bližini črte, ki predstavlja reko),
  - metoda grobe ocene za izločanje točk, ki v vertikalnem smislu preveč odstopajo od ploskve DMR in kvarijo predvsem oblikovanost površja,
  - hidrološke analize (ter popravki okolice vodotokov in stoječih voda);
- pripis metapodatkov kakovosti dodatno pridobljenim virom.

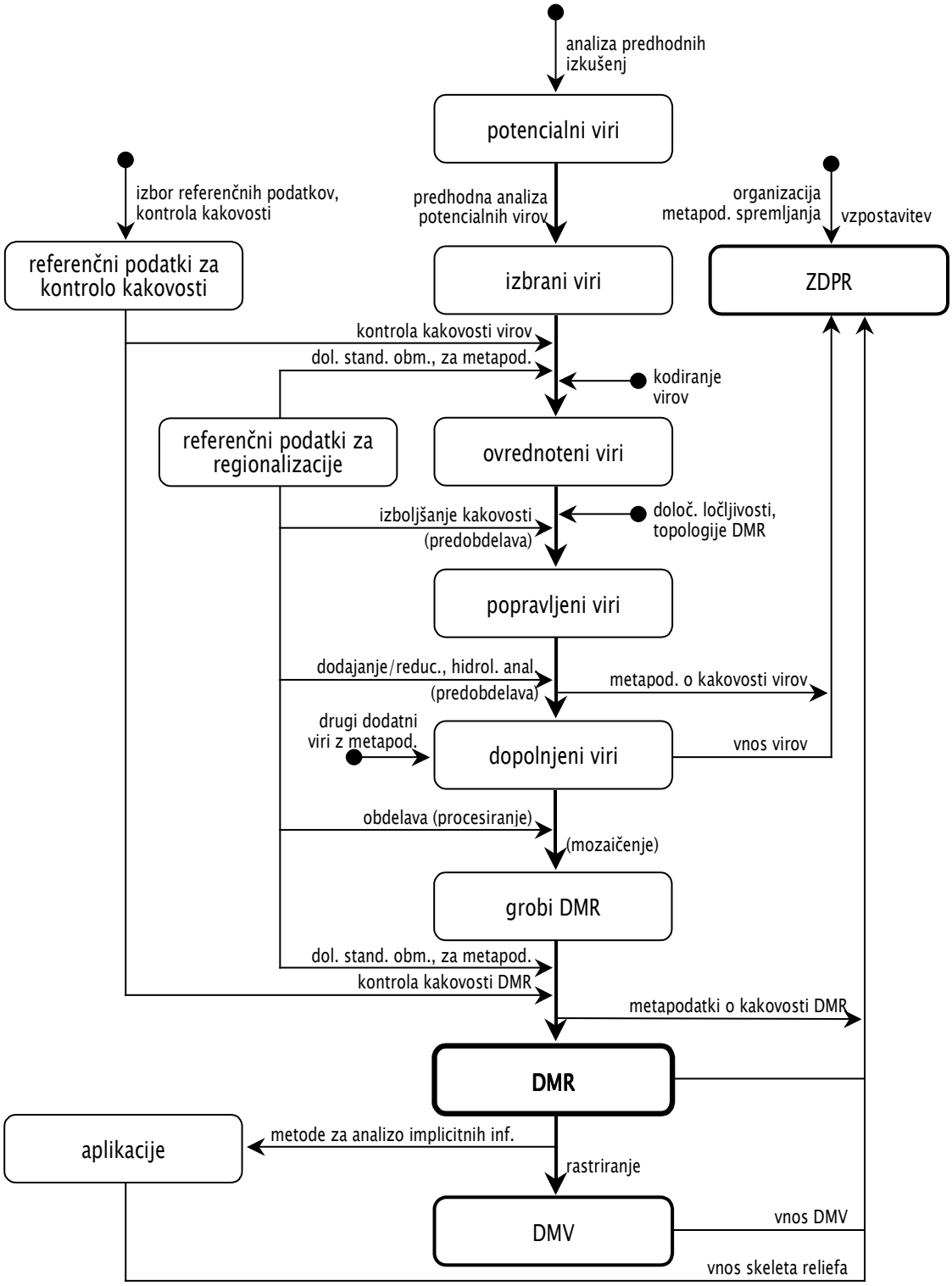
Obdelava DMR iz virov (razdelek 5.4):

- dve obravnavani metodi:
  - metoda hkratne interpolacije virov (izračun DMR in iz njega DMV),
  - metoda utežnega seštevanja virov (neposredni izračun DMV);
- pri obeh metodah upoštevamo naslednje:
  - uporaba popravljenih virov glede na parametre uteži, pridobljene pri predobdelavi,
  - upoštevanje uteži glede na kakovost virov in geomorfološke značilnosti,
  - uporaba približnih metod interpolacije,
  - glajenje reliefa (način odvisen od metode),
  - sestavljanje v celoto (mozaičenje) z uskladitvijo robov,
  - izdelava DMV 20;

Upravljanje s podatki o reliefu (razdelek 5.5):

- dejanska ocena kakovosti DMR:
  - vizualne metode,
  - statistične metode (z referenčnimi točkami in sloji);
- vzdrževanje virov in DMR/DMV:
  - vključitev virov okolice Slovenije,
  - vključitev vedno novih primernih virov:
    - predhodno ovrednotenje kakovosti virov, določitev parametrov uteži, odstranitev sistematskih in grobih napak, reduciranje/dodajanje ipd.,
    - z dodajanjem kakovostnejših virov so izločeni starejši, ki ne zadoščajo vse bolj ostrim kriterijem kakovosti DMR,
    - umeščanje popravljenih območij DMR;
  - dodaten zajem virov pri upoštevanju metapodatkov o nezadostni ali nedoločljivi kakovosti DMR,
  - vključitev referenčnih točk po kontroli kakovosti DMR;
- vzdrževanje geodetskih zbirk podatkov (kot »stranski proizvod« izdelave DMR):
  - geodetske točke in CBPS:
    - ročno preverjanje potencialnih grobih napak nadmorskih višin, določenih pri statistični kontroli med predobdelavo DMR;
  - GKB-relief (in TBVN) ter značilne točke in črte:
    - samodejna izdelava manjkajočih plastnic iz DMR (pri uporabi čim bolj kakovostne programske opreme),
    - popravki neskladij GKB-reliefa (statistična in vizualna primerjava dveh DMV, prvega izdelanega iz osnovnih plastnic GKB-reliefa ter drugega, iz samodejno izdelanih plastnic DMR);
  - GKB-hidrografija (in TBVN):
    - ročno atributiranje stoječih voda z DTK 25,
    - kontrola poteka in samodejno atributiranje višin vodotokov glede na DMR;
- zasnova organizacije zbirke digitalnih podatkov reliefa (ZDPR):
  - učinkovita struktura in uporabniško primerna zbirka,
  - obratovanje,
  - spremljanje kakovosti.

Večina tematik prvega dela, tj. 'aktivnostih pri pripravi za modeliranje DMR', je analiziranih v predhodnih razdelkih disertacije. Vse druge opise linearne sheme uporabljam kot ogrodje za opis praktičnega postopka modeliranja DMR Slovenije v nadaljevanju. Izdelavo DMR Slovenije predstavljam shematično tudi z blokovnim diagramom (slika 31) s povezavami med posameznimi osnovnimi koraki izdelave DMR. V diagramu ni prikazana iterativnost izdelave DMR.



Slika 31: Blokovni diagram izdelave DMR.

5.2 PRIPRAVA MODELIRANJA DMR

Aktivnosti pri pripravi za modeliranje DMR so navedene v razdelku 5.1. Večino postopkov sem analiziral v drugih delih disertacije. V nadaljevanju razdelka obravnavam tiste izmed navedenih, ki so označeni z zvezdico (*):

- pregled modeliranj reliefa v svetu in Sloveniji,
- ocena možnosti izdelave DMR Slovenije,
- pregled elementov modeliranja DMR,
- samodejne regionalizacije Slovenije (*),
- predhodna ocena kakovosti potencialnih virov (*),
- kodiranje virov (*) in
- pregled in izbor ustrezne programske opreme.

5.2.1 Samodejne regionalizacije Slovenije

Pri regionalizacijah oz. delitvah ali členitvah zemeljskega površja gre za iskanje med seboj podobnih značilnosti, ki jih lahko na določen način sestavimo v zaključene skupine ali območja. Z geografskega vidika delimo zemeljsko površje na t. i. geografske enote – pokrajine (Hrvatin in Perko 2000b). Pri tem upoštevamo naravne in/ali družbene značilnosti. Prve resnejše tovrstne geografske regionalizacije Slovenije izhajajo iz šestdesetih let prejšnjega stoletja in so bile precej subjektivne narave. Z dodelavo metodologij ter predvsem z možnostjo avtomatizacije klasifikacij ob pomoči orodij GIS postajajo regionalizacije neprimerno bolj objektivne (Perko 1998).

Regionalizacije lahko navežemo na področje računalništva, in sicer v smislu klasifikacij (delitev, členitev) podobnih značilnosti po določenih kriterijih. V primeru klasifikacij gre najpogosteje za upoštevanje majhnega števila geografskih značilnosti ali celo samo ene same. Razne samodejne metode (klasifikacij) so znane predvsem s področij daljinskega zaznavanja in GIS.

Pri konceptu izdelave DMR Slovenije gre za izdelavo regionalizacij z namenom iskanja homogenih območij, kakršna omogočajo pregledno in učinkovito izdelavo DMR iz podatkov z različnimi lastnostmi. V geografskem smislu gre v tem primeru za enostavne regionalizacije oz. za nekoliko zapletenejše klasifikacije (delitve). Samodejne regionalizacije Slovenije se v tem primeru vključujejo v večino postopkov koncepta izdelave DMR. Omogočajo kakovostnejšo izdelavo DMR pri spremljanju kakovosti virov in DMR ter predvsem pri predobdelavi in deloma tudi obdelavi.

Samodejne regionalizacije Slovenije disertacije temeljijo na t. i. spremenljivkah regionalizacij (relativno enostavne klasifikacije ali delitve površja). Posamezne spremenljivke so bile izdelane pri uporabi različnih virov kot so referenčni DMV (refDMV), metalogenetska karta, vegetacijska karta, GKB in podatki o izvajalcih. Vsak izmed virov je služil kot osnova za izdelavo ene ali več spremenljivk. Referenčni DMV je npr. služil za izdelavo spremenljivk razgibanosti, naklonov, ukrivljenosti in nadmorskih višin površja. Posamezne spremenljivke so zapisane v obliki rastrskih podatkovnih slojev.

Regionalizacije so izdelane s prostorskim modeliranjem pri uporabi orodij GIS, največkrat na temeljih operacij algebre karte. Modeli za izvajanje regionalizacij so empirični, torej so izdelani glede na izkušnje ter želene oz. pričakovane rezultate. Sicer pa se nana-

šajo predvsem na enostaven opis pojavov v prostoru, na pojasnjevanje povezav v prostoru ter v nekaterih primerih tudi na napovedovanje značilnosti podatkov in prostora.

5.2.1.1 Spremenljivke regionalizacij

Za različne potrebe in namene regionalizacij je bilo popravljenih več spremenljivk (indeksov oz. delitev ali klasifikacij). Zaradi praktičnih razlogov so posamezne spremenljivke zapisane kot nominalne vrednosti, normirane na intervalu [0, 100], kjer pomeni večja vrednost večjo vplivnost. Spremenljivke, vključene v modele regionalizacij, lahko glede na njihovo naravo ločimo v naslednji skupini (podrobnejši opis izdelave posameznih spremenljivk je v dodatku B.1):

- spremenljivke naravnih in antropogenih značilnosti površja in
- spremenljivke kakovosti virov in DMR.

Spremenljivke naravnih in antropogenih značilnosti površja

Naravne in antropogene značilnosti zemeljskega površja imajo najpomembnejši vpliv pri izdelavi DMR. Za več regionalizacij Slovenije uporabljam naslednje spremenljivke z navedenimi oznakami:

- genetski tipi; (kameninska sestava) zakraselost *K*, pedološka sestava,
- geomorfološki tipi:
  - razgibanost *R*, ki vsebuje: naklon *N*, ukrivljenost *U* in nadmorsko višino *V*,
  - značilna območja *O* ali skelet reliefa;
- poraslost *G*,
- rečna mreža *H*, stoječe vode *S*,
- poseljenost *P*,
- drugi antropogeni elementi površja, kot so npr. transportna mreža *T* in kamnolomi.

Površje (relief) Slovenije je razgibano in raznoliko. Slovenija leži na stiku štirih velikih reliefnih enot: Alp, Dinarskega gorovja, kotline Jadranskega morja in Panonske kotline. Tektonski in geomorfološki procesi so izoblikovali pokrajino, ki jo sestavljajo raznovrstni genetski in geomorfološki tipi reliefa.

Izmed *genetskih tipov reliefa* so značilni (Gabrovec in Hrvatin 1998): destrukcijski rečno-denudacijski, akumulacijski rečno-denudacijski, ledeniški, apneniški kraški, dolomitni kraški, obalni (abrazijski) in antropogeni tip. Med njimi prevladujeta kraški in rečno-denudacijski, medtem ko so drugi omejeni na manjša območja. Ponekod se genetski tipi površja prepletajo, npr. v gorah, ki so jih v pleistocenu preoblikovali ledeniki, danes pa prevladuje kemično raztapljanje karbonatnih kamnin zaradi česar govorimo o ledeniško-kraškem reliefu. Posamezni genetski tipi so največkrat preveč implicitni v geomorfoloških tipih površja, ki bolje opisujejo oblikovanost zemeljskega površja. Za modeliranje reliefa izpostavljam le apneniški kraški genetski tip reliefa, na katerem nastajajo kraški pojavi, ki imajo izrazit vpliv na modeliranje reliefa. Pri tem mislim predvsem na vrtače, ki jih lahko naštejemo po več kot 200 na km^2, ter uvale in kraška polja (Gabrovec in Hrvatin 1998). Smiselna poenostavljena regionalizacija za izdelavo DMR Slovenije glede geneze pomeni ločitev na:

- apneniški kraški svet (zakraselost površja) ter

- vse drugo.

Geomorfološki tipi površja se nanašajo na *razgibanost* in *značilna območja*. Na razgibanost površja, kot najpomembnejši dejavnik vplivajo spremenljivke kot so nakloni, ukrivljenost in nadmorske višine. Razgibanost klasificiramo kot ravnine, gričevja, hribovja, gorovja ter visoke in nizke planote. Za regionalizacijo DMR sem visoke in nizke planote preklasificiral v ravnine in gričevja. *Naklon površja* vpliva na natančnost določitve nadmorskih višin točk reliefa. Dodatno pripomore k razgibanosti površja preprosto dejstvo, da je na pobočjih (in tudi na izbočenih delih površja) erozivni potencial večji kot na ravninah (Podobnikar et al. 1998). Večja *ukrivljenost površja* pomeni večjo razgibanost. Na večjih *nadmorskih višinah* je manj akumulacije, več skalnih gmot, bolj razgibano površje, poleg tega pa je manj gozdov ali pa so ti nižji in manj vplivajo na natančnost določanja nadmorskih višin (npr. s fotogrametričnimi tehnikami). Značilna območja *skeleta reliefa* so skupina geomorfoloških tipov površja kot so območja vrhov, vrtač, sedel, grebenov in dolin.

Poraslost površja vpliva predvsem na kakovost podatkov virov za izdelavo DMR, in sicer tistih, ki so bili zajeti s fotogrametričnimi metodami. Posebej težko je na poraslih območjih določiti vrtače na kraškem površju.

Rečna mreža in *stoječe vode* vplivajo na oblikovanost površja in so pomembne pri regionalizaciji DMR. Reke tečejo vedno navzdol, njihova bližina pomeni nenehno preoblikovanje reliefa. Površine jezer so vedno ravne, njihova obala pa je vedno višja od gladin.

Poseljenost (urbaniziranost) pomeni določen poseg človeka v oblikovanost površja. Takšno površje je najprivlačnejše za izdelavo čim bolj kakovostnega modela reliefa. Na urbanih območjih je na razpolago tudi precej večje število virov kot drugod.

Drugi antropogeni elementi površja so pomembni pri detajlni, mikroregionalizaciji. Gre za nenaravne spremembe reliefa zaradi usekov in nasipov prometne infrastrukture, kamnolomov ter drugih človekovih posegov. Ob tem velja omeniti tudi rečna korita, pri katerih gre poleg relativno hitrih naravnih sprememb tudi za antropogene vplive poteka tokov.

Spremenljivke kakovosti virov in DMR

Poleg naravnih in antropogenih značilnosti zemeljskega površja je treba pri regionalizacijah upoštevati tudi nekatere izmed elementov kakovosti (razdelek 4.5). Pri ovrednotenju in izboljšavi kakovosti virov sta posebej uporabni naslednji skupini spremenljivk z navedenima oznakama:

- izvajalci *I*, leto izdelave ali ažuriranja podatkov ipd.,
- gostota virov *L*.

5.2.1.2 Regionalizacije

Izdelane spremenljivke so z modeliranji pri uporabi primernih parametrov vključene v zapletenejše regionalizacije Slovenije. Izdelane regionalizacije so opisane v nadaljevanju, pri čemer so navedene njihove dvočrkovne oznake, podrobnejši opis pa je v dodatku B.2 in s pripadajočimi spremenljivkami v dodatku B.1, po naslednjih skupinah:

- spremljanje kakovosti,
- predobdelava in

- obdelava.

Spremljanje kakovosti

Regionalizacije za oceno kakovosti se uporabljajo kot osnova za podelitev parametrov uteži posameznim točkam ali mrežnim celicam virov za pravilno obdelavo. Podatki o kakovosti virov za izdelavo DMR se pri tem zapisujejo kot metapodatki v ZDPR (razdelek 5.5.4). Grobo določeni podatki o kakovosti so nato uporabljeni pri izdelavi referenčnega DMV (refDMV) ter pri spremljanju kakovosti izdelka DMR. Navedene so spremenljivke kot enočrkovne oznake ter regionalizacije kot dvočrkovne oznake. Med pokončnima črtama so označene vrednosti dejanskih kategorij:

- sloji standardnih območij pri kontroli kakovosti virov (ne točke) ter izdelkov:
  - razgibanost površja *R*, RR (ravninsko |1| / gričevnato |2| / hribovito |3| / gorato |4|),
  - nakloni površja *N*, RN (0°–5° |1| / 5°–20° |2| / >20° |3|),
  - značilna območja *O*, RO (vrh |1| / vrtača |–1| / sedlo |0| / greben |2| / dolina |–2|),
  - poraslost površja *G*, RG (gozd |1| / negozd |0|),
  - izvajalci *I*, RI;
- sloj zahtevane kakovosti DMR – RZ:
  - odvisen od zahtev naročnika oz. uporabnikov; možna uporaba sloja poseljenosti *P*;
- sloji za statistično oceno natančnosti/točnosti virov in DMR:
  - sistematske RS_i in naključne napake RV_i,
  - datum vnosa in/ali zadnjega popravka atributa (višine) za vsako rastrsko celico ali vektorsko točko;
- sloji deležev virov ter sloj prevladujočih (glavnih) virov pri DMR:
  - deleži virov RA_i pri izdelanem DMR glede na sloje naključnih napak RV_i,
  - sloj prevladujočih virov RA pri DMR, izdelan glede na deleže virov RA_i;
- sloja območij nezadostne ter empirično nedoločljive (vseeno pa analitično določljive) kakovosti DMR (ki jo je treba na označenih območjih izboljšati):
  - nezadostna kakovost RP_1, določena med obdelavo DMR, in sicer glede na območja nedovoljenega razhajanja dveh slojev in pri hkratnem pogoju, da na takih območjih ni referenčnih točk za kontrolo,
  - empirično nedoločljiva kakovost RP_2 za območja, na katerih je pri izdelavi DMR uporabljen le en sloj virov.

Omeniti velja tudi regionalizacijo, ki bi bila morda lahko zanimiva pri spremljanju kakovosti, in sicer ločeno za območja antropogenega in naravnega reliefa. S prekrivanjem dobljenega DMR in omenjenega sloja bi dobili dodatno informacijo o kakovosti izdelave DMR. Hkrati bi bila omenjena regionalizacija uporabna tudi na drugih področjih raziskovanja.

Predobdelava

Pri regionalizaciji za predobdelavo gre za podporo pri izboljšanju kakovosti virov (navedene so oznake posameznih spremenljivk in regionalizacij).

Izboljšanje kakovosti pri upoštevanju rezultatov predhodno testirane kakovosti virov:

- sloj za odpravo grobih napak referenčnih točk RU:
  - uporaba refDMV ter spremenljivk R, O, G, H, S, T; iz njih je modelirana ploskev za določitev praga med naključnimi in grobimi napakami;
- sloji za lokalno odpravo sistematskih napak virov RS_i, ki jih lahko zapišemo v obliki zveznih slojev:
  - izdelava pri upoštevanju parametrov srednjih odklonov M, določenih glede na standardna območja za kontrolo kakovosti;
- sloji za lokalno odpravo grobih napak virov RV_i, ki jih lahko zapišemo v obliki zveznih slojev:
  - izdelava pri upoštevanju srednjih kvadratnih odklonov m, določenih glede na standardna območja za kontrolo kakovosti; dobljene utežne ploskve določajo prag med naključnimi in grobimi napakami.

Dodajanje/reduciranje podatkov in hidrološke analize:

- sloji za določitev območij zgoščevanja podatkov, analognih stopnjujočemu vzorčenju RD_i:
  - dodajanje podatkov predvsem glede na ukrivljenost površja R v odvisnosti od gostote virov L;
- sloj za samodejno reduciranje odvečnih podatkov RL:
  - izločanje glede na gostoto virov L;
- sloj za ugotavljanje bližine značilnim črtam ali točkam RB:
  - izločanje raztresenih točk v bližini značilnih črt in točk reliefa, da ne kvarijo oblikovanosti površja;
- sloj za izboljšanje s hidrološkimi analizami RH:
  - uporaba spremenljivk K, O ipd.

Obdelava

Pri regionalizaciji za obdelavo DMR bi bila lahko posamezna območja klasificirana za izbiro ustrezne interpolacijske metode. To bi bilo dobrodošlo v primeru samodejne izbire več interpolacijskih metod pri upoštevanju lokalnih virov in geomorfoloških značilnosti (oblikovanost površja). Omenjene možnosti sem v disertaciji izvajal le v grobem, za manjša testna območja. Povezava med spremljanjem kakovosti in obdelavo je tudi določitev uteži posameznim slojem pri obdelavi glede na statistične ocene natančnosti posameznih virov RV_i.

5.2.2 Predhodna ocena kakovosti potencialnih virov

Pri predhodni analizi kakovosti potencialnih virov za izdelavo DMR gre za pridobivanje parametrov kakovosti glede na predhodno izvedene statistične analize ali analitične teste. Nekateri parametri predhodnih ocen kakovosti posameznih slojev DMV kot virov za izdelavo DMR so največkrat pridobljeni iz zbirk metapodatkov. Ti parametri so opisani v 2. poglavju. Predhodne ocene kakovosti so pomembne za boljše izvajanje analiz dejanske ocene kakovosti virov (razdelek 5.3.1). Za vse potencialne vire so parametri predhodne in dejanske ocene sistematično opisani v dodatku C.

5.2.3 Kodiranje virov

Za uporabo boljših in učinkovitih tehnik modeliranja DMR je treba vire primerno kodirati v odvisnosti od strukture ploskve površja, ki jo predstavljajo. Pri kategorizaciji kodiranja se naslanjam predvsem na izkušnje s Tehniške univerze na Dunaju (*SCOP* 1995; 1999), pri porazdelitvi posameznih virov po kategorijah pa glede na opravljene poskuse s testnimi podatki (preglednica 3). Točke temeljnih geodetskih mrež ter ročno zajetih kót in drugih točk so navedene v oglatih oklepajih, saj so v prvi fazi uporabljene kot referenčne za kontrolo kakovosti ter šele na koncu upoštevane pri izdelavi DMR. Podatki, navedeni v poševnih oklepajih, zaradi različnih vzrokov niso bili uporabljeni pri izdelavi DMR.

Koda	Vir
raztresene točke (angl. bulk points)	DMR 100 /DMR 500/ DMR 25 /InSAR DMV 25, InSAR DMV 100/ DMR 10 DMR 10 mesta Ljubljane /DMR 10 Ljubljanskega gradu in okolice/ /'SPOT DMV 20'/ /GTOPO30/ GKB-relief – analogija stopnjujočega vzorčenja (celična mreža 44 m, 22 m, 11 m)
	GKB-relief – plastnice
	točke plastnic (TTN 5 in 10) /Topografska baza večje natančnosti (TBVN)/ /podatki za načrtovanje tras avtocest/ [točke temeljnih geodetskih mrež = 'geodetske točke'] /točke izmeritvenih geodetskih mrež/ točke Zemljiškega katastra (ZK-točke) Centralna baza podatkov o stavbah (CBPS) [druge točke]
značilne točke (angl. spot heights)	[kóte, ročno zajete z DTK 25] [točke temeljnih geodetskih mrež – trigonometrične točke I. reda] GKB-relief, analogija selektivnega vzorčenja (vrhovi, dna vrtač, sedla)
oblikovne črte (angl. form lines)	GKB-relief, analogija selektivnega vzorčenja (grebeni, doline) GKB-hidrografija (črte rečne mreže) – s hidrološkimi analizami atribut. podatki
lomne črte (angl. break lines)	GKB-hidrografija (območja jezer, morske obale) – ročno atributirani podatki

Preglednica 3: Kodiranje podatkov, pripravljenih za modeliranje.

Pri opisani klasifikaciji bi bila lahko dodana še posebna koda za reke, ki so pravzaprav morfološko poseben tip površja. Spadajo v kategorijo med značilnimi in lomnimi črtami, poleg tega so usmerjene vedno navzdol. Tudi jezera bi bila lahko obravnavana kot posebna kategorija. Glede na metodo obdelave je včasih smiselno posebej kodirati plastnice, ali pa ločiti DMV kot vire od drugih vektorsko podanih raztresenih točk. Vrednosti uteži posameznih štirih skupin parametrov so v odvisnosti od uporabljene metode obdelave DMR navedene v razdelku 5.4.

5.3 PREDOBDELAVA VIROV

S postopki predobdelave so viri dejansko ovrednoteni ter izboljšani z izločitvijo grobih in sistematskih napak ter z drugimi postopki. Dokončno so tudi določeni parametri za obdelavo DMR. Pomembna elementa predobdelave, obravnavana v naslednjih podrazdelkih, sta:

- dejanska ocena kakovosti izbranih virov ter odstranitev grobih in sistematskih napak,
- dodajanje/reduciranje podatkov.

5.3.1 Dejanska ocena kakovosti izbranih virov ter odstranitev grobih in sistematskih napak

Grobe in sistematske napake je treba odstraniti najkasneje do obdelave DMR. V ta namen je dobro poznati gradivo o zajemu in lastnostih virov ter s testiranjem podatkov dobiti podrobnejše informacije o možnih napakah. Spoznati je treba naravo grobih, sistematskih in tudi naključnih napak. V razdelku 5.2.2 je obravnavna predhodna ocena kakovosti. Podrobnejši parametri dejanske ocene kakovosti so za vsak vir posebej navedeni v dodatku C. V nadaljevanju so v zvezi z dejansko oceno kakovosti podrobneje obravnavani naslednji problemi:

- vizualna kontrola referenčnih podatkov in virov ter ročno popravljanje (nekaterih) grobih napak (izboljšanje kakovosti),
- izdelava referenčnega DMV (refDMV) kot zveznega sloja za kontrolo kakovosti virov,
- statistična kontrola ter samodejno odpravljanje grobih napak točkovnih virov (izboljšanje kakovosti),
- statistična kontrola ter samodejno odpravljanje sistematskih napak virov (izboljšanje kakovosti), ki se jih da opisati z zveznim slojem,
- določitev ločljivosti celične mreže izdelka DMR (podrobno je obravnavana v razdelku 4.2.2 in določena na 20 m).

5.3.1.1 Vizualna kontrola referenčnih podatkov in virov ter ročno popravljanje grobih napak

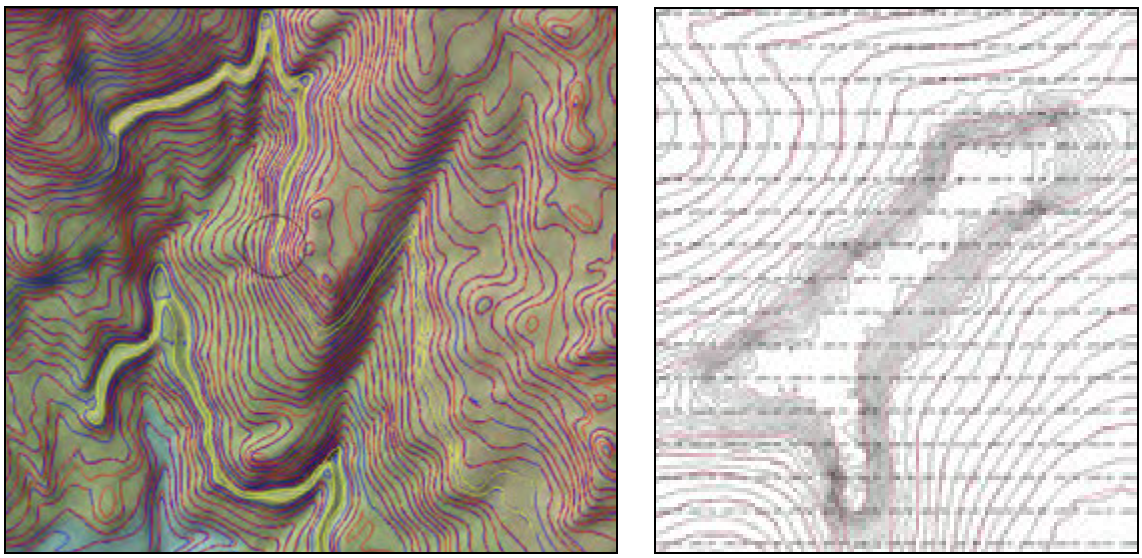
Vizualne kontrole referenčnih podatkov in virov so teoretično vpeljane v razdelku 4.5.3.2. Izvajal sem jih neprestano med izdelavo DMR. Kar nekaj jih je opisanih v sklopu drugih poglavij ter skupaj s podrobno dejansko oceno v dodatku C. Le najzanimivejše med njimi, pri katerih gre za kontrole videza virov ter primerjave pri prekrivanju posameznih slojev, obravnavam v tem delu disertacije. Pri tem se izkaže, da prav vizualne metode odločilno vplivajo na dokončni izbor virov za izdelavo DMR.

Vizualna kontrola in ročno popravljanje grobih napak nekaterih virov

Če opazimo grobe napake, jih treba popraviti ali pa tak podatek enostavno odstraniti. V primeru odstranitve pridejo nato pri obdelavi do veljave drugi viri. Najprej so obravnavane vizualne kontrole in odprava grobih napak slojev, pri katerih je to najenostavneje in najbolj ekonomično izvesti ročno. Take popravke grobih napak izvajamo predvsem

na začetku predobdelave, lahko pa tudi po samodejni odstranitvi sistematskih in nekaterih grobih napak (razdelek 5.3.1.4). Opisana sta primera ročne odstranitve napak na začetku predobdelave za plastnice GKB-reliefa in za posamezne mrežne celice DMR 100.

Plastnice sloja *GKB-reliefa* so bile zajete s polsamodejno vektorizacijo posameznih črt z DTK 25. Poleg podatkov peščice slojev DMV je GKB-relief edini, ki geomorfološko zvezno pokriva celotno območje Slovenije, torej se ga da zapisati v obliki zveznega sloja. Podobno kot za GKB-relief so bile kontrolirane tudi plastnice sloja podatkov za načrtovanje avtocest (zelo malo grobih napak) in sloja TTN 5 (nekaj grobih napak). Tipična primera odkrivanja napak plastnic ponazarja slika 32. Levi primer prikazuje topološke napake križanja plastnic (v krogu), nastale zaradi majhnih medsebojnih razdalj. To povzroči tudi zamenjavo atributov višin (z rumeno označene plastnice). Rdeče črte so plastnice iz GKB-reliefa, modre pa samodejno ustvarjene plastnice. Ozadje je prikazano s kombinacijo hipsometrične barvne lestvice ter senc reliefa. Na desnem primeru so prikazane samodejno ustvarjene plastnice (črne) z označenimi nadmorskimi višinami v mreži točk prek plastnic GKB-reliefa (rdeče). Zaradi grobe napake atributa ponazarjajo samodejno ustvarjene plastnice lažno vrtačo.



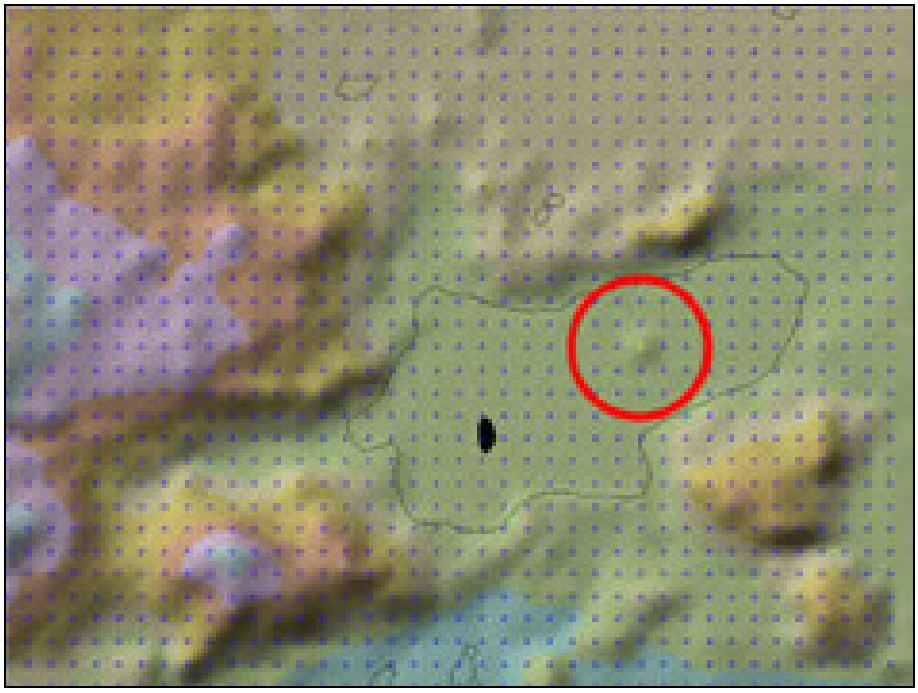
Slika 32: Primera odkrivanja grobih napak plastnic GKB–reliefa s primerjavo pri prekrivanju posameznih slojev.

Drug primer prikazuje odstranitev nepravilno lociranega otoka na *DMR 100* (slika 33). S črno barvo je pobarvana prava, v krogu pa je označena napačna lokacija, ki je bila zaznana glede na sence reliefa. Napako popravimo tako, da se točko, ki je 22 m nad gladino jezera, pravilno atributira. V disertaciji sem se tovrstnega ročnega odstranjevanja preostalih grobih napak lotil samo poskusno.

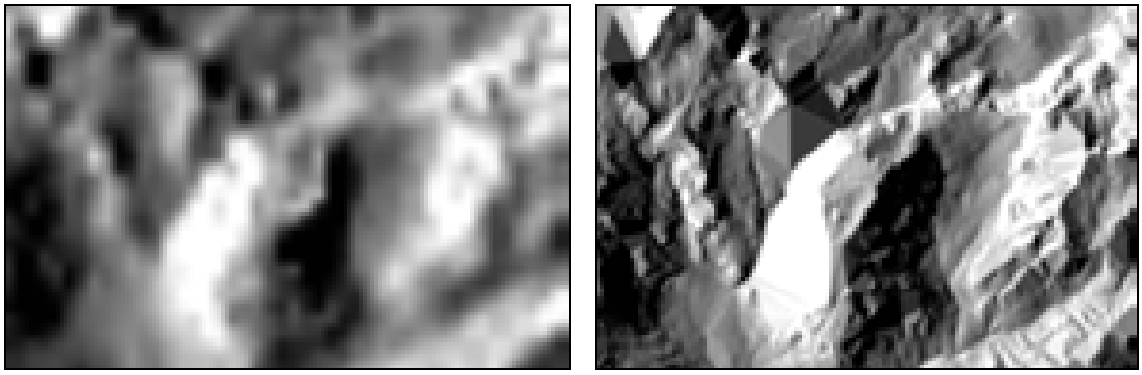
Vizualna kontrola drugih referenčnih podatkov in virov

S kontrolo videza virov in primerjavo pri prekrivanju posameznih slojev je bila napravljena večina vizualnih kontrol virov. Najprej želim omeniti podrobni vizualni analizi (dodatek C.11.1) ročno popravljenega sloja GKB-reliefa ter plastnic predvojne TK 25 in DTK 25 (slednji sloj je boljši). Slika 34 prikazuje primerjavo senčenih ploskev površja: DMR 100 (levo; predhodno interpoliran na večjo ločljivost – uporaba piramidne strukture glede na želeno ločljivost) in DMR 25 (desno). DMR 100 je že po ločljivosti nep-

rimerno slabši od DMR 25. Pri interpolaciji plastnic GKB-reliefa sem ugotovil, da se ravne ploskve trikotnikov na DMR 25 ujemajo z območji brez plastnic v GKB-reliefu, poleg tega se ujemajo tudi druge podrobnosti, skupaj z napakami atributov sloja GKB--reliefa. Vidimo, da je bil v tem primeru DMR 25 izdelan kot TIN iz plastnic ter potem (linearno) interpoliran v celično mrežo. Primerjava s sliko 43, ki prikazuje refDMV, izdelan iz plastnic ter dopolnjen z DMR 100, potrjuje opisane domneve.



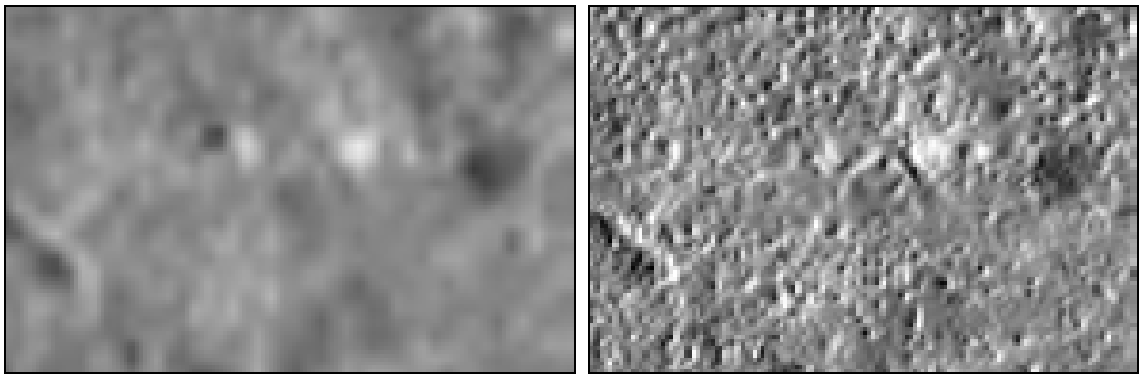
Slika 33: Na DMR 100 nepravilno lociran Blejski otok na delu testnega območja Bleda /5/ (4000 krat 3000 m. S krogom je označena izboklina kot nepravilna lokacija, s črno barvo označen otok pa kot pravilna. Križci predstavljajo točke celične mreže DMR 100.



Slika 34: Primerjava videza DMR 100 (levo) in DMR 25 (desno) za testno območje Alp /2/ (4500 krat 3000 m).

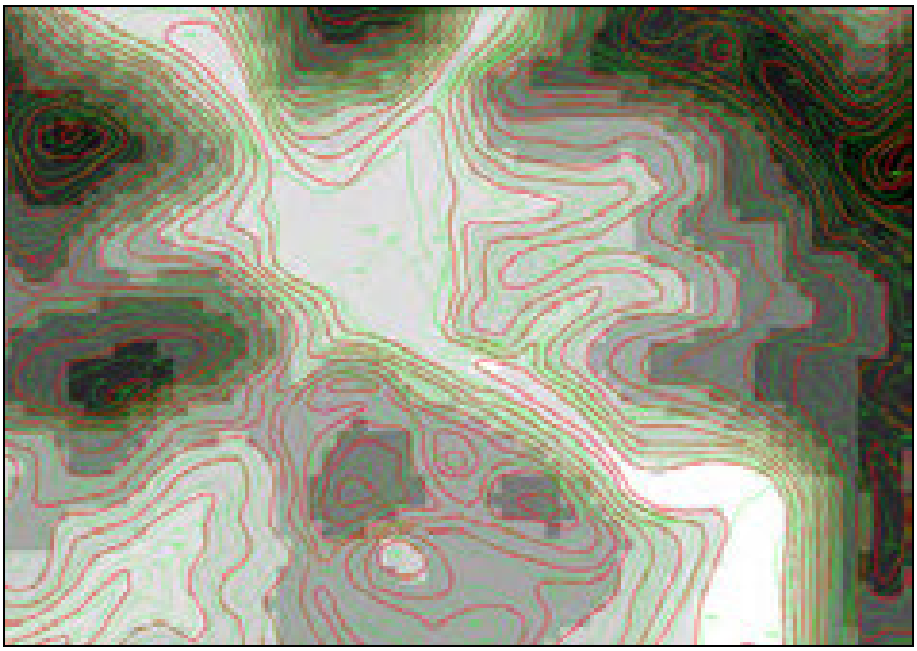
Zanimiv primer prikazuje slika 35, kjer sta prav tako prikazani ploskvi DMR 100 (levo) in DMR 25 (desno). Na DMR 100 so prikazane le nekatere podrobnosti večjih vzpetin ali vrtač, in še v tem primeru predvidevam, da je velika vrtača nekoliko višje in levo od sredine lažna. DMR 25 je mnogo bolj podroben, vendar vizualno ne preveč lep. Vidi se mrežasta struktura prvotnega DMR 40 (verjetno izdelanega iz plastnic z DTK 25), ki je

bila interpolirana na večjo ločljivost DMR 25. Pri tem menim, da ni bila izvedena bilinearna interpolacija (Oven 1996; razdelek 2.4.3).



Slika 35: Primerjava videza DMR 100 (levo) in DMR 25 (desno) za testno območje Krasa /3/ (4500 krat 3000 m).

Ugotovil sem, da je poleg starejših podatkov tudi precejšen del novejšega DMR 25 iz leta 2000 izdelan iz GKB-reliefa. Z vizualnim prekrivanjem omenjenih slojev sem želel dodatno potrditi odvisnost DMR 25 od GKB-reliefa in neodvisnost od TTN 5. DMR 25 je prikazan s hipsometrično barvno lestvico v sivih tonih in se na sliki 36 ujema s plastnicami GKB-reliefa, medtem ko se s plastnicami TTN 5 ne. Pri tem je opaziti tudi nekatere značilne napake interpolacije sloja DMR 25.

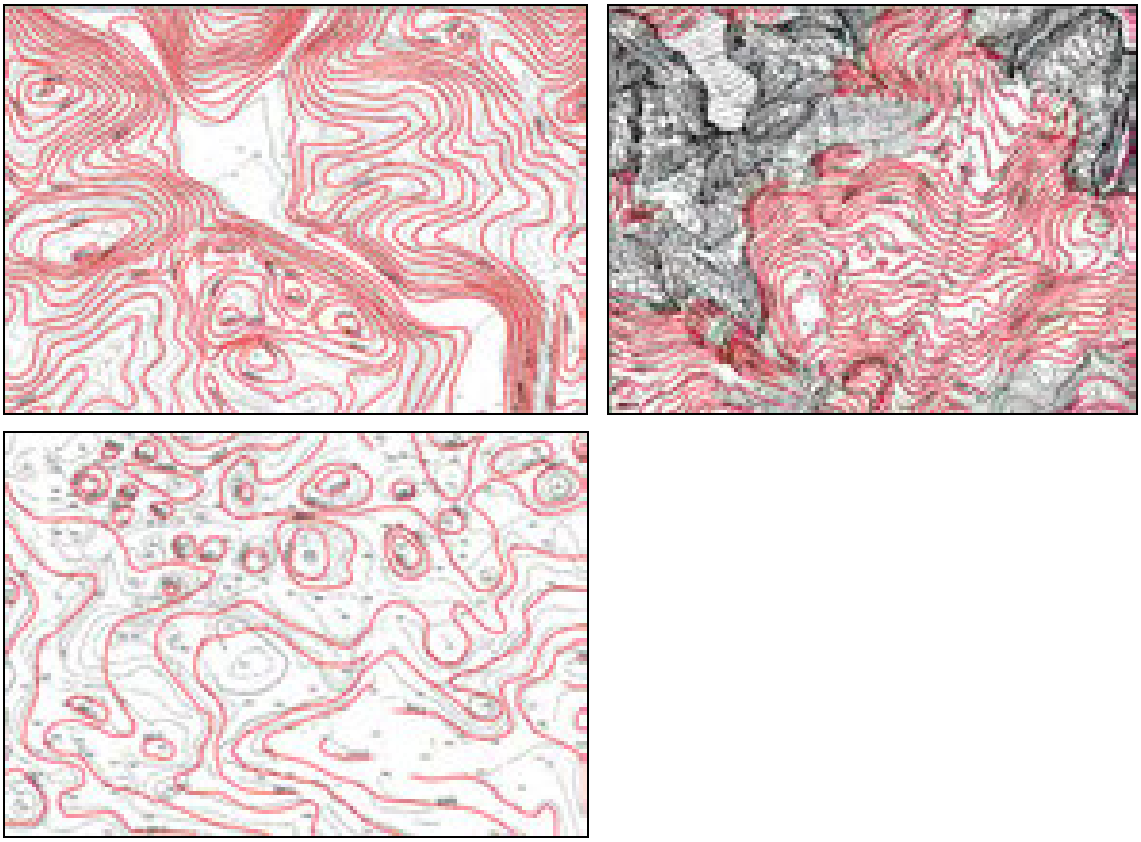


Slika 36: Primerjava plastnic TTN 5 (zelene črte) in GKB–reliefa (rdeče črte) z DMR 25, prikazanim s hipsometrično barvno lestvico v sivih tonih za del testnega območja Krškega /1/ (1500 krat 1070 m).

Vizualno primerjavo prekrivanja posameznih slojev sem izdelal na več značilnih primerih za digitalizirane plastnice s TTN 5 in GKB-reliefa (DTK 25). S skenogrami plastnic TTN 5 (brez nadmorskih višin) je možno izvajati le vizualno primerjavo z drugimi sloji, statističnih kontrol pa ne. Glede na rezultate kontrol kakovosti (Lipej 1997; 1998), naj

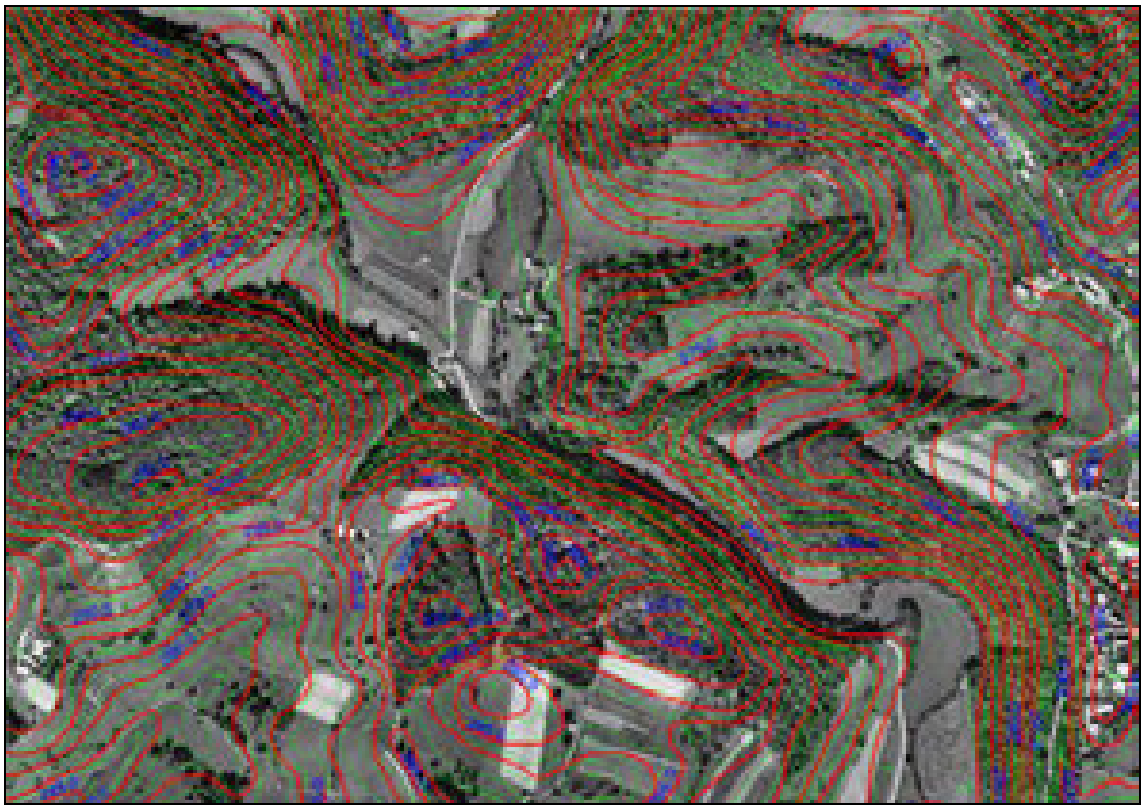
bi imele plastnice iz TTN 5 napako višin 2 m, plastnice GKB-reliefa pa 10 m. Kljub temu so nekateri uporabniki mnenja, da je pravzaprav GKB-relief natančnejši od plastnic iz TTN 5. Vzrok temu naj bi bila precejšnja nehomogenost izmere TTN 5, predvsem zaradi dolgotrajnega (40-letnega) zajemanja podatkov z različnimi fotogrametričnimi metodami in zamenjavami operaterjev.

Slika 37 prikazuje primerjave plastnic TTN 5 in GKB-reliefa na manjših delih treh testnih območij. Zanimivo je, da so najmanjše razlike med slojema opazne v Alpah, kjer je dejanski relief najbolj razgiban (desno zgoraj), vendar manjka v tem primeru veliko število plastnic GKB-reliefa, ki se niso dale vektorizirati s polsamodejno metodo. Vidi se tudi, da je predvsem za območje Krasa (spodaj) na TTN 5 prikazano precej več podrobnosti, kot v GKB-reliefu, kjer so plastnice pretirano generalizirane. Nekoliko boljše ujemanje je na zmerno razgibanem reliefu (levo zgoraj), kjer pa opazimo na nekaterih mestih izrazito neujemanje obeh skupin plastnic.

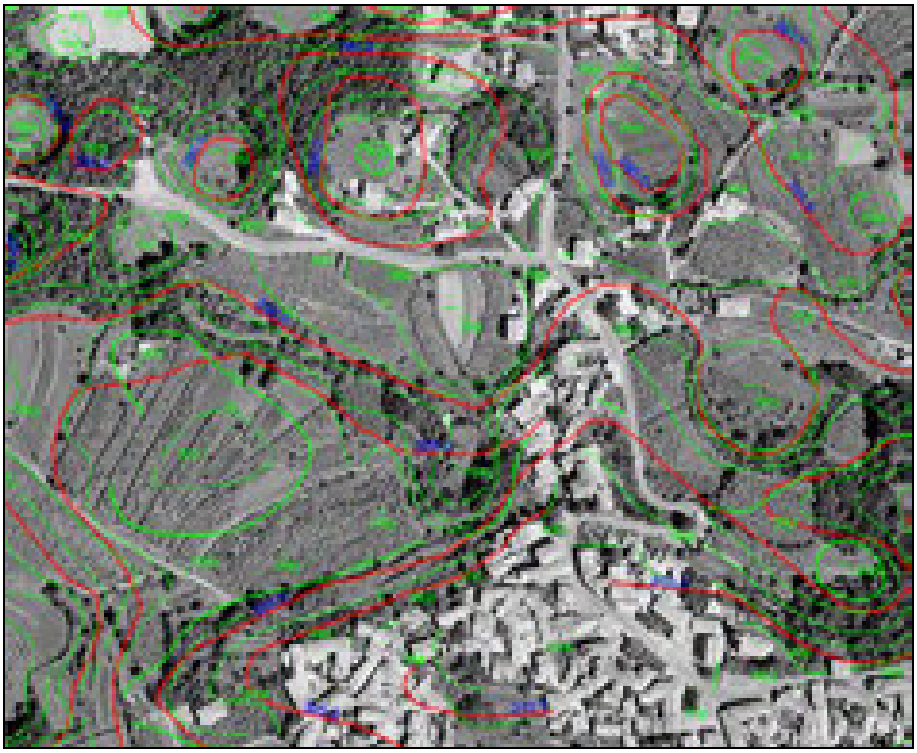


Slika 37: Primerjava plastnic TTN 5 (črne črte) in GKB–reliefa (rdeče črte z oznakami nadmorskih višin) za testna območja Krškega /1/ (levo zgoraj; 1500 krat 1070 m), Alp /2/ (desno zgoraj; 1250 krat 970 m) in Krasa /3/ (spodaj; 1050 krat 750 m).

Prepričljivejšo vizualno oceno plastnic dobimo z arbitražno primerjavo s tretjim, neodvisnim slojem enake ali boljše kakovosti, najbolje plastnic. Takega sloja nisem imel na razpolago, vendar se je pri tem izkazala koristnost kontrolne vizualizacije z DOF 5 (slika 38). V ta namen bi lahko uporabil satelitske posnetke visoke ločljivosti (npr. Ikonos z ločljivostjo piksla 1 m). Vidi se, da se plastnice TTN 5 bolj prilagajajo reliefu, kot plastnice GKB-reliefa. Opazno je tudi, da so največja odstopanja med slojema na območju gozdov. Vidni so tudi zamiki plastnic GKB-reliefa glede na struge potokov.

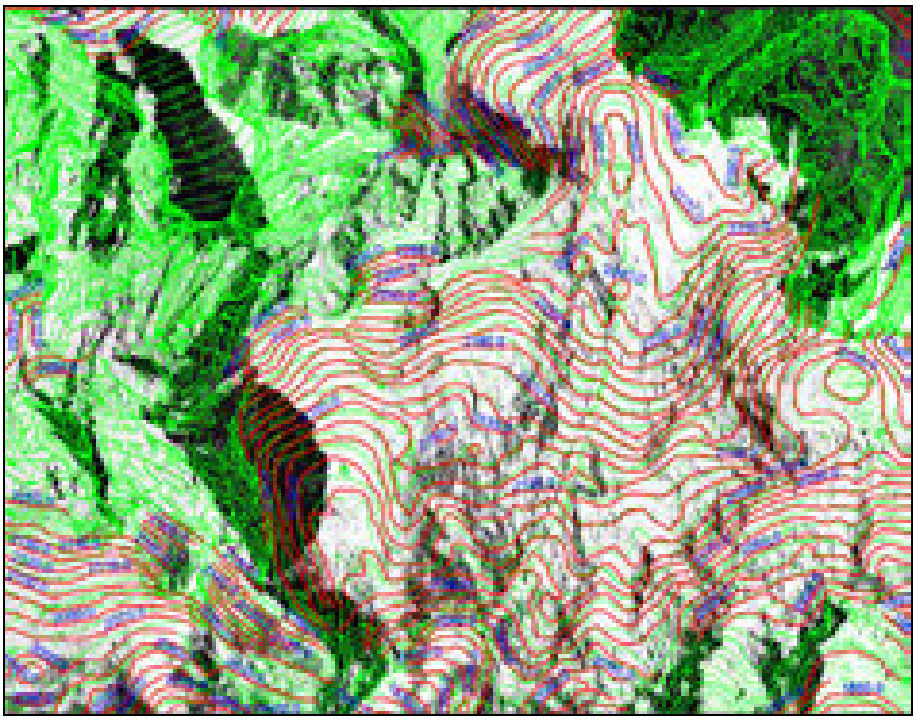


Slika 38: Primerjava plastnic TTN 5 (zelene črte) in GKB-reliefa (rdeče črte z modrimi oznakami nadmorskih višin) z DOF 5 za del testnega območja Krškega /1/ (1500 krat 1070 m).

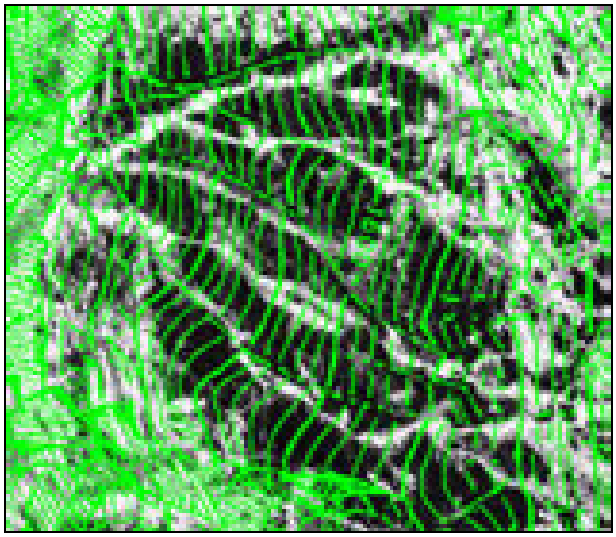


Slika 39: Primerjava plastnic TTN 5 (zelene črte) in GKB-reliefa (rdeče črte z modrimi oznakami nadmorskih višin) z DOF 5 za del testnega območja Krasa /3/ (600 krat 500 m).

Opazovanje slike 39, predvsem senc, poteka cest, vzorcev njiv in drugih podrobnosti nas navaja na to, da TTN 5 v večini primerov neprimerno bolje prikazuje oblikovanost zemeljskega površja, kot pa ga plastnice GKB-reliefa. Na sliki 40 lahko opazimo tudi, da plastnice iz TTN 5 zelo dobro opisujejo dejansko oblikovanost površja glede na razpoznane podrobnosti z DOF 5.



Slika 40: Primerjava plastnic TTN 5 (zelene črte) in GKB–reliefa (rdeče črte z modrimi oznakami nadmorskih višin) z DOF 5 za del testnega območja Alp /2/ (1250 krat 970 m).



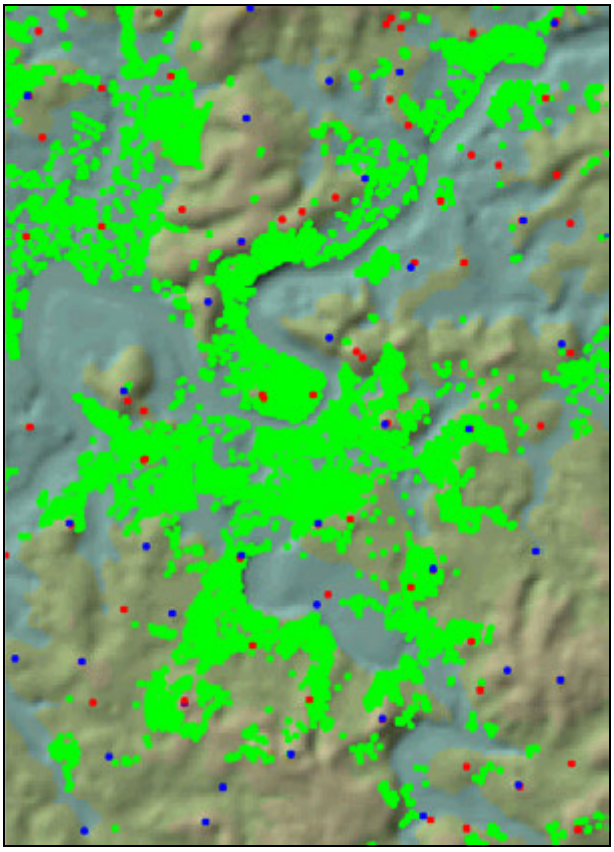
Slika 41: Podrobna primerjava plastnic TTN 5 (zelene črte) z DOF 5 za del testnega območja Alp /2/ (350 krat 300 m).

Dodatna potrditev prejšnje ugotovitve so struge hudournikov, vrisane na TTN 5 (zelene črtkane črte), ki odstopajo v horizontalnem smislu za največ okoli 25 m glede na

DOF 5. To je za tako zapleten relief manj, kot bi pričakovali (slika 41). Plastnice GKB--reliefa na obravnavanem območju na žalost sploh niso bile zajete.

Z vizualnimi primerjavami slojev na treh testnih območjih sem ugotovil, da so plastnice s kart TTN 5 precej boljše od tistih iz GKB-reliefa. Dodatno oceno daje statistična kontrola (razdelek 5.3.1.4). Dobre rezultate vizualne kontrole kakovosti TTN 5 potrjuje tudi dejstvo, da je bil DOF 5 geokodiran z oslonilnimi točkami, izmerjenimi z GPS, neodvisno od TTN 5 ali DTK 25.

Slika 42 prikazuje porazdelitve nekaterih točk, pri čemer se lepo opazi relativno enakomerno porazdelitev točk temeljnih geodetskih mrež (rdeče) ter kót z DTK 25. Točke Centralne baze podatkov o stavbah – CBPS (zelene) so opazne na bolj ravninskih območjih. Glede na druga testna območja se da ugotoviti tudi, da so ZK-točke porazdeljene podobno kot CBPS ter da so trigonometrične točke I. reda večinoma po vrhovih. Boljše rezultate o porazdelitvi točk da opisna statistika točk v razdelku 5.3.1.3.



Slika 42: Točkovni viri za testno območje Novega mesta /7/ (4200 krat 6000 m). Točke temeljnih geodetskih mrež so rdeče, CBPS zelene ter ročno zajete kóte z DTK 25 modre. Za ozadje je senčen relief.

5.3.1.2 Izdelava referenčnega DMV

Referenčni DMV (refDMV) je mišljen kot homogen in natančen sloj za kontrolo kakovosti virov ter za odpravljanje nekaterih grobih in sistematskih napak (razdelek 5.3.1.3). Uporabljamo ga kot lahko področje obravnave, če dovolj dobro poznamo njegovo kakovost, pri čemer se moramo zavedati, da vsebuje tudi grobe napake (glej tudi Ivačič

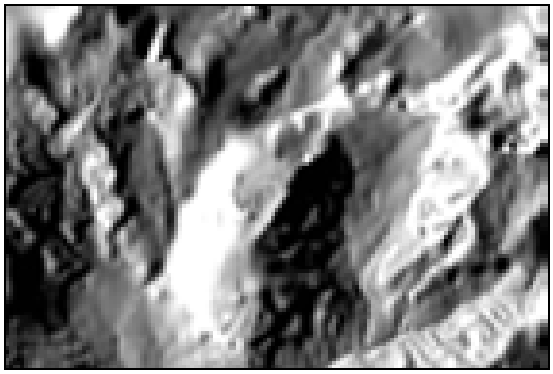
1996, 87). Referenčni DMV je posebno pomemben pri izvedbi nekaj samodejnih regionalizacij Slovenije (razdelek 5.2.1).

Referenčni DMV sem izdelal glede na predhodne ocene kakovosti virov ter nekatere dejanske kontrole in poskuse na majhnih testnih območjih. Uporabil sem enostavno hkratno interpolacijo po načelu »vzporednega« prekrivanja virov, pri čemer sem pazil predvsem na to, da sem celotno območje zapolnil z najboljšimi viri čim bolj enakomerno (razdelek 3.3). Ločljivost refDMV je z 20 m enaka, kot je predvidena pri končnem izdelku, DMR Slovenije. Za izdelavo sem uporabil naslednje vire:

- sloj plastnic GKB-reliefa (zaradi morebitnih grobih napak z rezervo),
- DMR 25 (nepopoln),
- DMR 100 (na območjih z majhno gostoto virov),
- lokalna DMR 10 in DMR 10 mesta Ljubljane,
- sloja rečne mreže in stoječih voda GKB-hidrografije.

Omeniti velja, da sem sloj plastnic GKB-reliefa uporabil brez rezerve na testnih območjih, kjer sem ga predhodno ročno popravil (razdelek 5.3.1.1). Povsod drugje sem območja potencialnih napak izločal z metodo grobe ocene (razdelek 5.3.2.5). DMR 25 je bil nepopoln, poleg tega pa sem uporabil le tista območja, za katera sem vedel, da je dober. DMR 100 sem uporabil predvsem tam, kjer drugih virov ni bilo na razpolago. Med posameznimi plastnicami GKB-reliefa sem pri tem uporabil kriterij oddaljenosti točk DMR 100 od plastnic vsaj za 100 m ter da je bila velikost posameznega sklenjenega območja DMR 100 vsaj 10 km^2. Rečno mrežo sem uporabil tako, da so vodotoki tekli vedno navzdol, medtem ko sem višino gladin jezer izračunal kot srednjo vrednost reliefa na obodih jezer. Na žalost nisem uporabil InSAR DMV 25, ker ga pri izdelavi še nisem imel na razpolago.

Referenčni DMV bi lahko izdelal še nekoliko bolje, predvsem z boljšo predobdelavo, vendar sem cilj, izdelati DMV visoke kakovosti na relativno enostaven način, izpolnil. Sicer pa je v modelu DMR Slovenije izdelava refDMV mišljena kot iterativni postopek. Pri vsaki novi izdelavi ali izboljšavi DMR je na razpolago mnogo boljši refDMV kot prvič, saj je zanj privzet kar predhodno izdelan DMR. Referenčni DMV izdelam torej po opisani metodi samo prvič, potem pa nikoli več. Vertikalna natančnost refDMV je bila takoj po izdelavi ocenjena na približno 4,5 m, in sicer z manjšimi testi na več območjih Slovenije. Podrobneje so elementi kakovosti refDMV opisani v razdelku 5.3.1.4 ter v dodatku C.25. Slika 43 prikazuje refDMV z ločljivostjo celične mreže 20 m za območje Alp /2/. Vizualno je precej boljši od primerljivega DMR 25 (slika 34).



Slika 43: Referenčni DMV za testno območje Alp /2/ (4500 krat 3000 m).

5.3.1.3 Statistična kontrola ter samodejno izločanje grobih napak točkovnih virov

Kot rezultat statističnih kontrol ter samodejnega izločanja grobih napak točkovnih virov želimo dobiti naslednje podatke brez grobih napak:

- referenčne točke za kontrolo kakovosti slojev virov DMV in izdelka DMR Slovenije,
- druge točkovne vire, ki jih uporabljamo pri izdelavi DMR Slovenije.

Pri tem velja predpostavka, da dobljeni podatki ne vsebujejo sistematskih napak. Za modeliranje DMR so bile na razpolago naslednje točke:

- geodetske točke (v tem primeru gre le za točke temeljnih geodetskih mrež),
- trigonometrične točke I. reda,
- točke Zemljiškega katastra (ZK-točke),
- točke Centralne baze podatkov o stavbah (CBPS),
- druge točke in
- kóte.

Vse navedene točke so bile natančno izmerjene z geodetskimi metodami (dodatek C). Naključne napake v vertikalnem smislu niso večje od 1 m (v povprečju so še mnogo manjše), kar je neprimerno bolje kot pri drugih virih. Potencialne grobe napake točk sem ugotavljal in izločal v dveh korakih, in sicer po 'osnovni metodi' in po 'metodi varianc'. Izločene točke bi bilo treba naknadno ročno preveriti in odpraviti napake, vendar se s tem v disertaciji nisem ukvarjal.

'Osnovna metoda'

Najprej sem izvajal enostavno 'osnovno metodo' izločanja grobih napak točk. Rezultati so prikazani v zgornjem delu preglednice 4. Izločal sem tiste točke, ki so imele na območju Slovenije:

- vrednost natanko 0, kar pomeni brez podatkov nadmorskih višin,
- vrednosti pod 0 ali nad 2864 (Triglav); tudi vrednosti pod ali nad dejanskim intervalom višin za posamezne geodetske izpostave,
- vrednosti, ki predstavljajo signale (pri geodetskih točkah).

'Metoda varianc'

Pri izločanju grobih napak sem v drugem koraku uporabil statistično tehniko, ki jo imenujem 'metoda varianc'. Za izločanje napak točk je treba podrobno poznati naravo naključnih odklonov in jih opisati s parametri standardnega odklona (varianc) za:

- točkovne vire, katerih grobe napake želimo odstraniti in
- refDMV ter druge vire DMV, ki služijo kot referenčni podatki za kontrolo točk.

Parametre standardnih odklonov sem dobil s predhodno oceno kakovosti potencialnih virov (razdelek 5.2.2), podprto z dejansko oceno kakovosti na manjših testnih območjih. Za vse točkovne vire sem poenostavljeno privzel, da so povsod enake kakovosti, s standardnim odklonom 0,5 m. Kot referenčne podatke za kontrolo točk sem uporabil referenčni DMV – refDMV (razdelek 5.3.1.2) ter druge vire DMV.

Porazdelitev standardnih odklonov referenčnih DMV sem povezal z izdelavo zveznega sloja (ploskve) RU. Določil sem ga v odvisnosti od: spremenljivk razgibanosti površja, naklonov, posameznih značilnosti reliefa, poraslosti, zakraselosti, bližine rečne mreže, območij stoječih voda in drugih ravnih površin, transportne mreže, podatkov o delu izvajalcev ipd. Deleže uteži posameznih spremenljivk sem izračunal glede na rezultate kontrol dejanske ocene kakovosti na manjših testnih območjih. Elementi kakovosti posameznih virov so opisani v dodatku C. Izdelava sloja RU je navedena v razdelku 5.2.1.2 in podrobneje opisana v dodatku B.2.2.1.

Da postanejo testirani točkovni viri pravilni, torej da ne vsebujejo več grobih napak, morajo ustrezati naslednjemu kriteriju

$$\mathrm{abs}\left(H_T - H_{DMV}\right) < \mathrm{RU} \tag{5-1}$$

Izločitev torej temelji na izračunu absolutne razlike nadmorskih višin posameznih točk *T* in odgovarjajočih vrednosti *DMV* (refDMV in drugi DMV) v vertikalnem smislu. Če je izračunana vrednost manjša od odgovarjajoče vrednosti sloja RU, potem štejemo odgovarjajočo točko med pravilne in jo ohranimo. Sloj RU je bil izračunan kot srednji kvadratni odklon *m* točk pri upoštevanju refDMV ter bil interpretiran kot standardni odklon σ glede na omenjeno veliko število spremenljivk po formuli

$$\mathrm{RU} = \sqrt{\sigma_T^2 + k^2 \sigma_{DMV}^2} \tag{5-2}$$

Pri tem je σ_T^2 varianca točk (privzeta kot 0,5 m za vse območje) in σ_{DMV}^2 varianca odgovarjajočih vrednosti *DMV* (refDMV drugih DMV). Za varianco točk *T* predpostavljamo, da ne vsebuje grobih napak. Varianca *DMV* pa je pomnožena s faktorjem *k*, ki določa prag za izločanje grobih napak (navadno med 3 in 5, odvisno predvsem od pravilnosti sloja RU ter podobnosti med *m* in σ).

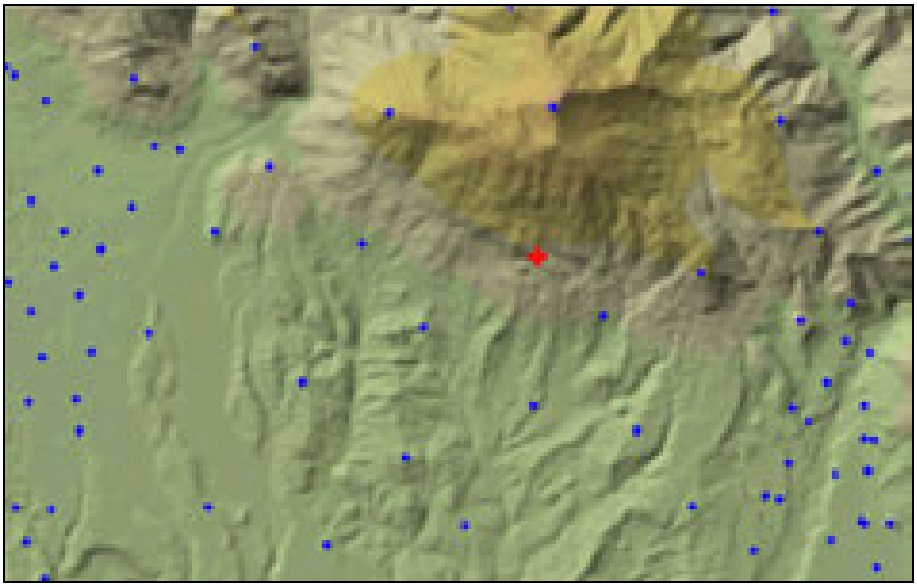
Slika 44: Zvezni sloj RU za testno območje Triglava /4/ (6000 krat 3000 m). Rumene vrednosti pomenijo manjše vrednosti kot rdeče. Za ozadje so sence refDMV.

Pri dejanskem testu sem uporabil faktor *k* = 4 in pri tem upošteval napako točk DMV po metodi prenosa varianc (dodatek B.2.2.1). Poudariti želim, da sem omenjeni postopek ponavljal s primerjavo posameznih skupin točk z refDMV in z vsemi drugimi viri DMV, ki so morali biti izdelani neodvisno. S takim postopkom sem se izognil nepravilnim izločitvam točk zaradi morebitnih grobih napak refDMV. Za pravilne sem privzel vse test-

irane točke, pri katerih se je izkazalo, da so bile ovrednotene kot pravilne pri vsaj enem izmed testiranj s posameznimi sloji DMV. Poleg tega sem seveda predpostavil (in upal), da nobena groba napaka vseh uporabljenih virov DMV ni sovpadala z morebitno grobo napako kake točke.

Slika 44 prikazuje zvezni sloj RU. Najsvetlejša rumena barva pomeni vrednosti od 6 m naprej, najbolj izrazito rdeča (ki je na prikazu ni) pa vrednosti do 80 m. Najbolje bi bilo izdelati več slojev RU, in sicer glede na posebnosti porazdelitve napak vsakega uporabljenega DMV posebej. Vendar bi moral imeti v ta namen še pred izdelavo več podatkov o njihovi kakovosti. Predvsem na izrazitih značilnih območjih (skeleta) reliefa je opaziti slabost opisnega določanja sloja pri uporabi nekoliko preveč zglajenega refDMV. Taka območja so namreč obarvana preveč rumeno in imajo premajhno vrednost. To se bi dalo najlažje rešiti v drugi iteraciji izdelave DMR Slovenije in vključitvi skeleta reliefa v sloj RU.

'Metodo varianc' sem praktično preizkusil z dvema algoritmoma za izračun absolutnih razlik med viri testiranih točk *T* in posameznimi referenčnimi podatki *DMV*. Prvi je nekoliko bolj »površen« in temelji na matematičnih operacijah med posameznimi celičnimi mrežami (algebra karte). Pred tem je treba posamezne točke primerno rastrirati. Boljši algoritem temelji na prebadanju posameznih točk z obstoječimi mrežnimi celicami v vertikalnem smislu. Pri tem je primerjana vrednost točk določena glede na odgovarjajočo vrednost bilinearno interpoliranega DMV (razdelek 4.4.5). Slika 45 prikazuje izločanje geodetskih točk po 'metodi varianc'. Z rdečim križcem je označena izločena točka z grobo napako vrednosti 100 m, z modrimi križci pa preostale, neizločene točke.



Slika 45: Izločitev geodetske točke po 'metodi varianc' (rdeč križec) na območju pod Dobrčo na Gorenjskem (10 krat 6 km). Preostale točke so označene z modrimi križci. Za ozadje so sence refDMV.

V preglednici 4 je prikazanih nekaj opisnih statističnih podatkov za posamezne skupine testiranih točk; v zgornjem delu glede na 'osnovno metodo', v spodnjem pa kot posledica 'metode varianc'. Število točk pred izločitvijo grobih napak je navedeno v oklepajih. Podrobnosti o izločanju posameznih točk slojev so podrobneje opisane v dodatku C. Rezultati glede na različne mere odklonov v zadnjih treh stolpcih preglednice so izračunani po izločitvi grobih napak točk glede na referenčni DMV (refDMV). Pri tem je bil

srednji odklon izračunan kot povprečna razlika med posameznimi referenčnimi točkami in odgovarjajočimi vrednostmi refDMV, pri čemer pomeni pozitivna vrednost, da so točke (sistematsko) višje od DMV. Rezultati precej povejo tudi o kakovosti refDMV. Omeniti velja, da so bili na splošno parametri za izločanje po 'metodi varianc' zelo posrečeno izbrani. Vidi se, da ni bila izločena niti ena izmed trigonometričnih in 'drugih točk', pri katerih sem že pred tem predvideval, da sta najbolj zanesljiva sloja. Poleg tega so tudi največji odkloni vseh prečiščenih točk med seboj primerljivi. Glede na uporabljene podatke GU sem izračunal, da približno 0,4 % vseh točk najverjetneje vsebuje grobe napake atributov nadmorskih višin.

Izločanje grobih napak točk po 'osnovni metodi' (prvi korak)						
Točke	Število pred izloč.	Število po izloč.	Izločenih [%]	Odklon RMSD [m]	Srednji odklon [m]	Največji odklon [m]
Geo. t.	(25.791)	21.535	16,5	9,00	2,33	– 514/495
Trig. t.	(28)	27	3,6	4,78	3,41	–5,6/14,5
ZK t.	(1.765.069)	1.290.812	26,9	10,25	–0,07	–765/1003
CBPS	(240.156)	213.350	11,2	5,09	0,27	–789/359
Druge t.	(12.890)	12.458	3,5	4,97	–0,69	–61/34
Kóte	(1849)	1797	2,8	41,9	4,59	–1463/323
Izločanje grobih napak točk po 'metodi varianc' (drugi korak)						
Geo t.	(21.535)	21.439	0,4	4,58	2,22	–37/151
Trig. t.	(27)	27	0	4,78	3,41	–5,6/14,5
ZK t.	(1.290.812)	1.284.703	0,5	3,10	0,02	–77/44
CBPS	(213.350)	213.299	0,02	3,36	0,30	–59/66
Druge t.	(12.458)	12.458	0	4,97	–0,69	–61/34
Kóte	(1797)	1779	1,0	13,8	5,19	–62/128
Vse točke	*(1.539.979)*	*1.533.705*	*0,4*	*3,2*	*0,09*	*–77/151*

Preglednica 4: Število točk pred in po izločanju grobih napak z deleži izločenih točk za celotno Slovenijo. Odkloni v zadnjih treh stolpcih so izračunani glede na refDMV. V zgornji polovici tabele so podatki prvega koraka glede na 'osnovno metodo', v spodnji pa podatki drugega koraka glede na 'metodo varianc'.

Opisna statistika točk (glede na nadmorske višine)

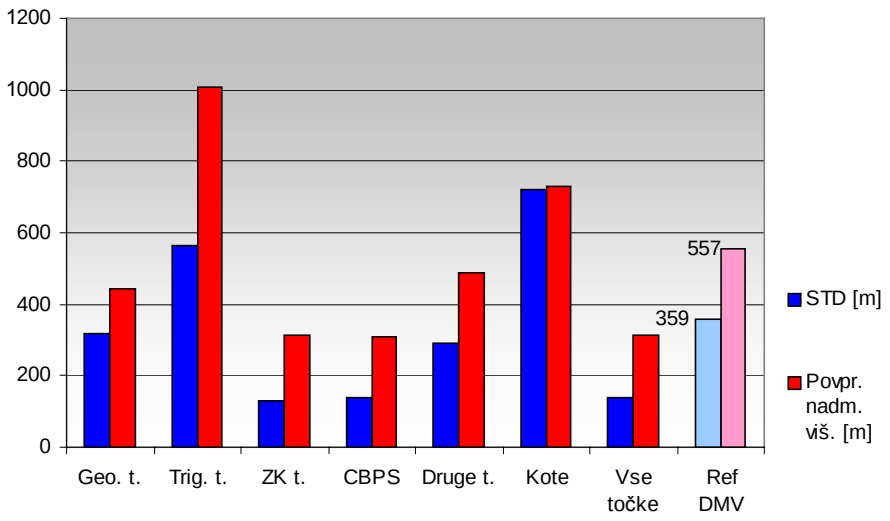
Dodaten podatek pri predobdelavi virov je statistika porazdelitve točk brez grobih napak v prostoru glede na osnovne opisne parametre dejanskega reliefa (preglednica 5). Analiza odgovarja predvsem na to, katere točke so glede porazdelitve boljše kot referenčne pri testiranju. Kot najboljši približek reliefa sem privzel kar parametre refDMV. Vidimo, da so najboljše testne točke 'druge' ter geodetske. Precej slabše so vse preostale točke, in sicer tudi v primeru, da so bile upoštevane vse hkrati.

V preglednici se ne vidi, da je povprečna nadmorska višina izločenih točk približno za 100 m višja od prečiščenih. To najverjetneje pomeni, da je k temu v večji meri kot kakovost samih točk prispeval sloj RU, ki je glede na refDMV nekoliko preveč »blag« v gorah. Rezultati kažejo tudi na že znano dejstvo, da je največ stavb (CBPS) v nižinah,

kjer je tudi največ parcel (ZK-točke). Povprečna slovenska hiša stoji približno na nadmorski višini Ljubljane. Trigonometrične točke I. reda so večinoma v precej visokih gorah. Na sliki 46 je z grafikonom prikazana primerjava standardnega odklona nadmorskih višin glede na povprečno nadmorsko višino točk. Na desni so idealni parametri, izračunani iz refDMV, podatki pa so vzeti iz preglednice 5.

Točke	Število	STD [m]	Povprečna nadm. viš. [m]	Najmanjša nadm. viš. [m]	Največja nadm. viš. [m]
Geo. t.	21.439	317	445	0,8	2863,9
Trig. t.	27	566	1007	236,3	2558,0
ZK t.	1.284.703	132	312	64,0	2055,6
CBPS	213.299	140	308	0,1	2521,0
Druge t.	12.458	289	488	228,5	1780,4
Kóte	1779	723	728	0,8	2864,0
Vse točke	*1.533.705*	*138*	*315*	*0,1*	*2864,0*
RefDMV	-	*359*	*557*	*0,0*	*2852,5*

Preglednica 5: Osnovni opisni statistični podatki točk za območje Slovenije glede na dejanski relief (približek je refDMV).



Slika 46: Grafikon standardnega odklona (modro) in povprečne nadmorske višine posameznih skupin točk (rdeče). Za referenco je na desni primerjava z refDMV za območje Slovenije.

Kljub temu, da 'druge' in geodetske točke glede obravnavanih značilnosti kot vzorec najbolje opisujejo porazdelitev višin dejanskega reliefa, je smiselno testirati tudi porazdelitev točk glede na nekatere značilnosti reliefa v Sloveniji, ki jih v dejanskem primeru predstavim v okviru testnih območij. Test omogoča npr. podatek, koliko izmed vseh točk pripada značilnemu območju sedel. Preglednica 6 prikazuje deleže vseh točk brez grobih napak v odstotkih. Za primerjavo so navedeni deleži posameznih *standardnih območij za kontrolo kakovosti* pri uporabi slojev regionalizacij RR, RN, RO, RG (razde-

lek 5.2.1.2). Za referenčne testne točke so se glede porazdelitve najbolje obnesle tiste točke, ki so imele porazdelitve čim bolj podobne deležem za Slovenijo. Tudi v tem primeru so se najbolje obnesle 'druge' točke, za njimi pa geodetske. Vidimo tudi, da so ZK--točke in CBPS praktično vse zunaj gozdov, kóte in trigonometrične točke I. reda po vrhovih itd.

Točke/ območja	Razgibanost (ravn./grič./ hrib./gorat.) [%]	Nakloni (0°–5°/5°–20°/>20°) [%]	Značilna območja (vrtača/dolina sedlo/greben/vrh) [%]	Poraslost (negozd/gozd) [%]
Geo. t.	34/33/27/6	58/38/4	0,5/0,0/0,1/0,3/0,2	79/21
Trig. t.	4/22/44/30	41/59/0	3,4/0,0/0,0/0,0/0,0	63/37
ZK t.	45/43/11/0	62/35/3	0,0/0,0/0,1/0,3/0,2	91/9
CBPS	41/44/15/0	54/43/3	0,0/0,0/0,1/0,3/0,2	96/4
Druge t.	27/35/33/5	36/46/19	0,0/0,3/0,1/0,5/0,4	56/44
Kóte	31/24/21/24	54/34/12	10,4/0,0/0,7/1,3/1,9	74/26
Vse točke	*44/43/12/1*	*61/36/3*	*0,00/0,03/0,01/0,04/0,01*	*91/9*
RR, RN, RO, RG	*16/31/44/9*	*26/45/29*	*0,7/7,3/0,2/7,8/0,3*	*46,5/53,5*

Preglednica 6: Porazdelitev (frekvenca) točk brez grobih napak glede na standardna območja za kontrolo kakovosti na območju Slovenije. Spodaj so navedeni deleži Slovenije po standardnih območjih za kontrolo kakovosti.

5.3.1.4 Statistična kontrola ter samodejno odpravljanje sistematskih napak virov, ki se jih da opisati z zveznim slojem

Najpomembnejši rezultat razdelka 5.3.1.3 je pridobitev točk brez grobih napak, ki jih zato lahko uporabimo za referenčne. Prečiščene točke so v tem razdelku uporabljene za testiranje kakovosti virov, ki se jih da opisati z zveznim slojem. Rezultati, ki se med seboj dopolnjujejo in prepletajo, so naslednji:

- statistična kontrola natančnosti in točnosti potencialnih virov (pridobitev parametrov kakovosti virov, uporabnih tudi pri obdelavi DMR);
- izbor in priprava virov ali delov virov; zasnova osnovnega sloja in sekundarnih virov;
- odstranitev sistematskih napak virov s statističnimi metodami;
- označitev območij grobih napak in nedoločljive kakovosti virov s statističnimi metodami;
- pripis metapodatkov kakovosti virom.

Statistična kontrola natančnosti in točnosti potencialnih virov

Statistično kontrolo sem izvajal na naslednjih virih, ki se jih da opisati z zveznimi sloji (sloji, navedeni med poševnima črtama, niso bili uporabljeni pri izdelavi DMR):

- DMR 100 (vsa Slovenija),
- DMR 25 (območja pred letom 2000),
- DMR 25 (območja iz leta 2000),

- /InSAR DMV 25/,
- DMR 10 (obalni pas),
- DMR 10 mesta Ljubljane,
- /podatki za načrtovanje avtocest – predhodna interpolacija na celično mrežo 5 m za manjše testno območje okolice avtoceste v Prekmurju/,
- GKB-relief (predhodna interpolacija z metodo LIDIC na celično mrežo 10 m),
- plastnice TTN 5 – za testno območje Triglava /4/ (predhodna interpolacija z metodo LIDIC na celično mrežo 10 m),
- /referenčni DMV – refDMV, testiran zaradi primerjalnih podatkov kakovosti/.

V *prvem koraku* sem izvajal le kontrolo kakovosti navedenih virov z uporabo vseh točk virov kot referenčnih (geodetske točke, trigonometrične točke I. reda, ZK-točke, CBPS, druge točke in kóte; skupaj 1.533.705) glede na sloje standardnih območij za kontrolo kakovosti (razdelek 5.2.1.2). Vse točke sem uporabil zato, ker je bilo za testiranje nekaterih območij na razpolago premalo najkakovostnejših referenčnih točk. V preglednici 7 so podane vrednosti parametrov virov, ki jih lahko opišemo z zveznim slojem, s parametri frekvence oz. deleža referenčnih točk *f*, srednjega kvadratnega odklona *m* in srednjega odklona *M* kot sistematske napake, glede na določene skupine standardnih območij. Frekvenca *f* ponazarja le delež vseh točk, ki so bile na razpolago pri testiranju določene značilnosti. V zadnjem stolpcu preglednice 7 so podane ocene kakovosti slojev za celotno območje testiranja v mejah Slovenije. Kadar je bil določen sloj omejen le na manjše testno območje, ki je bilo poleg tega geomorfološko zelo enostavno, je v oklepaju subjektivno ocenjena kakovost za območje vse Slovenije.

Vir (DMV)		Razgibanost (ravn./grič./hrib./gorat.) [%, m, m]	Nakloni (0°–5°/5°–20°/>20°) [%, m, m]	Značilna obm. (vrtača/dolina sedlo/greben/vrh) [%, m, m]	Poraslost (negozd/gozd) [%, m, m]	*Celotno območje v Sloveniji* [%, m, m]
DMR 100	*f*	44/43/12/1	61/36/3	0,30/5,90/1,83/7,14/1,13	91/9	
	m	3,8/6,7/10,8/51,9	5,5/9,4/12,5	7,5/4,2/2,0/3,8/16,8	6,9/11,7	*10,5*
	M	0,06/–0,02/–0,63/2,7	0,01/–0,05/–1,18	–4,22/–0,93/0,50/1,36/15,28	0,00/–0,52	*–0,2*
DMR 25 (pred 2000)	*f*	43/44/12/1	59/37/4	0,31/6,37/1,89/6,60/1,13	91/9	
	m	2,2/3,3/5,0/9,0	2,5/3,8/6,1	2,1/2,8/1,8/2,7/3,4	2,9/5,3	*4,2*
	M	1,05/0,90/0,94/2,03	1,05/0,90/0,71	0,18/0,37/1,52/1,66/3,57	1,09/–0,10	*0,9*
DMR 25 (2000)	*f*	51/40/9/0,4	66/31/2	0,16/5,63/1,50/8,26/0,74	91/9	
	m	1,6/2,7/4,6/11,6	1,9/3,2/6,3	2,9/2,6/3,1/2,4/5,3	2,1/5,0	*4,0*
	M	1,00/0,66/0,85/0,40	0,91/0,73/0,59	–0,41/–0,11/2,44/1,15/6,38	0,97/–0,33	*0,7*

Vir (DMV)		Razgibanost (ravn./grič./hrib./gorat.) [%, m, m]	Nakloni (0°–5°/5°–20°/ > 20°) [%, m, m]	Značilna obm. (vrtača/dolina sedlo/greben/vrh) [%, m, m]	Poraslost (negozd/ gozd) [%, m, m]	*Celotno območje v Sloveniji* [%, m, m]
InSAR DMV 25	*f*	44/43/12/1	61/36/3	0,30/5,90/ 1,83/7,14/1,13	91/9	
	m	1,9/3,6/ 6,3/13,4	2,4/4,4/8,4	4,2/2,8/ 2,8/2,7/7,3	3,4/5,3	*5,1*
	M	0,19/0,02/ –0,57/0,00	0,17/ –0,10/–1,29	–1,25/–0,26/ 0,09/0,26/4,57	0,10/–0,74	*–0,3*
DMR 10	*f*	90,0/9,7/0,3/–	83,3/16,4/0,3	–/1,5/1,4/2,7/–	100/–	
	m	1,5/2,0/1,6/–	1,4/2,0/1,6	–/0,1/1,5/1,2/–	1,5/–	*1,6* (*2,5–3*)
	M	1,61/1,77/ 1,32/–	1,59/1,80/1,32	–/2,30/ 1,70/2,30/–	1,62/–	*1,5* (*1*)
DMR 10 Ljubljane	*f*	76/21/3/–	87/12/1	–/3,97/ 1,65/10,14/0,54	99/1	
	m	0,7/1,6/2,5/–	0,7/1,9/3,0	–/1,4/1,4/1,1/1,7	1,0/2,6	*1,8* (*2*)
	M	–0,04/–0,39/ –0,58/–	–0,05/ –0,64/–0,22	–/–0,21/–0,22/ –0,13/–0,14	–0,13/–0,10	*–0,4* (*0*)
Podatki za načrtovanje avtocest	*f*	100/–/–/–	100/–/–/–	–	98/2	
	m	0,6/–/–/–	0,6/–/–/–	–	0,6/0,3	*0,6* (*1,5*)
	M	0,11/–/–/–	0,11/–/–/–	–	0,11/0,08	*0,1* (*0*)
GKB-relief	*f*	71/27/2/0,1	79/20/1	0,30/5,90/ 1,83/7,14/1,13	93/7	
	m	1,8/3,0/ 5,2/7,4	1,9/3,2/7,3	3,6/2,7/ 2,5/2,6/2,6	2,2/3,1	*4,0*
	M	–0,22/–0,33/ –0,23/3,51	–0,24/ –0,30/0,46	1,48/–0,04/ –0,18/–0,16/1,12	–0,23/–0,47	*0,0*
TTN 5	*f*	–/17/23/60	10/76/14	–/2,41/ 1,81/0,60/11,47	89/11	
	m	–/4,1/2,8/11,7	4,7/7,9/15,3	–/10,0/ –/–/13,1	10,9/8,9	*4,0* (*3,5*)
	M	–/–1,28/ –2,37/9,10	4,15/ 2,16/14,45	–/–5,44/ –/–/15,62	5,32/–0,28	*0* (*0*)
refDMV	*f*	44/43/12/1	61/36/3	0,30/5,90/ 1,83/7,14/1,13	91/9	
	m	1,6/3,3/ 5,7/12,2	2,1/4,0/7,8	3,8/2,4/ 2,9/2,3/6,9	3,0/4,7	*4,7*
	M	0,20/0,07/ –0,25/0,91	0,21/–0,01 /–0,96	–0,78/–0,04/ –0,36/–0,03/3,24	0,15/–0,43	*–0,1*

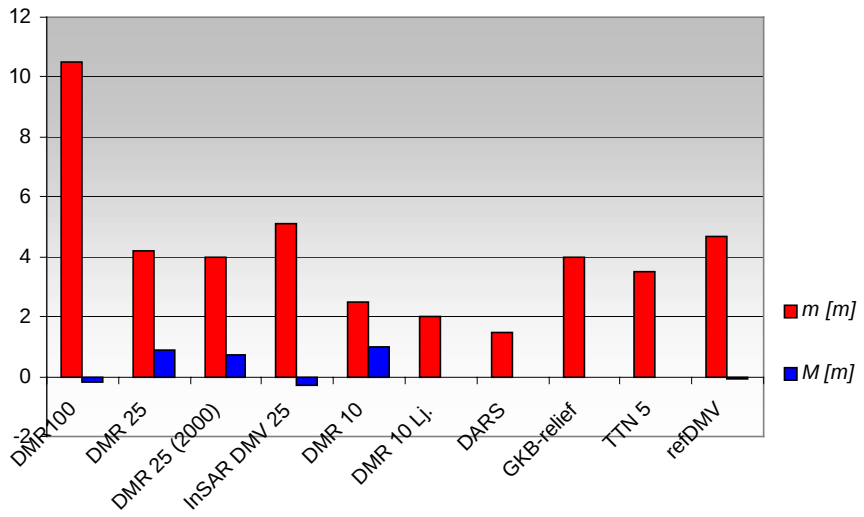
Preglednica 7: Frekvenca (delež) referenčnih točk *f*, srednji kvadratni odklon *m* in srednji odklon *M* kot sistematska napaka posameznega vira (vrstice). Standardna območja za kontrolo kakovosti se nanašajo na stolpce. Parametri so izračunani na glede na celotna območja razpoložljivih virov v Sloveniji.

Pri navajanju frekvence oz. deleža *f* sem upošteval tudi oceno, da pokrivajo značilna območja RO (četrti stolpec) 16,3 % Slovenije. Pri testiranju TTN 5 se pojavi problem, ker je testno območje samo v goratem svetu. Zanimivo je, da je natančnost GKB-reliefa večja od TTN 5, vendar precejšen del površine GKB-reliefa zaradi manjkajočih plastnic na najbolj strmih območjih sploh ni bil testiran. Predvideval sem tudi, da bodo dna vrtač

pri virih, zajetih s fotogrametričnimi postopki, previsoko. Problem naj bi bil predvsem v tem, da je tam gozd višji kot drugod. Testi so pokazali, da se pojavlja tako odstopanje zlasti pri DMR 25 (in deloma na nekaterih drugih DMV), medtem ko ga proti pričakovanjem pri GKB-reliefu in TTN 5 ni opaziti. Predvidevam, da je bila v tem primeru interpolacijska metoda za plastnice zelo učinkovita ter da so po drugi strani referenčne točke na omenjenih območjih nekoliko previsoko.

Vir – DMV	Sr. kv. odklon *m* [m]	Sr. odklon *M* [m]
DMR 100	10,5	–0,2
DMR 25 (pred 2000)	4,2	0,9
DMR 25 (2000)	4,0	0,7
InSAR DMV 25	5,1	–0,3
DMR 10	(2,5–3)	(1)
DMR 10 Ljubljane	(2)	(0)
Podatki za načrtovanje avtocest	(1,5)	(0)
GKB-relief	4,0	0,0
TTN 5	(3,5)	(0)
refDMV	4,7	–0,1

Preglednica 8: Parametri kakovosti posameznih virov za vso Slovenijo glede na srednji kvadratni odklon *m* in srednji odklon *M*. Vrednosti v oklepajih so približne ocene.



Slika 47: Grafikon primerjave srednjega kvadratnega odklona *m* (rdeče) in srednjega odklona *M* (modro) za posamezne vire.

Po pričakovanju je tudi opaziti, da je poraslost precej manj vplivala na izdelavo (radarskega) InSAR DMV 25 kot na podatke, ki se navezujejo na fotogrametrične vire. Pri InSAR DMV 25 so se pokazala predvsem območja vrhov in vrtač pretirano zglajena glede na ločljivost, kar je posledica narave informacij, ki jih dobimo iz radarskih satelit-

skih posnetkov in glajenja modela. Pričakovano so zglajena značilna območja tudi pri DMR 100.

Preglednica 8 prikazuje in iz preglednice 7 povzema osnovne parametre kakovosti za posamezne vire. Vrednosti v oklepajih so navedene v primeru slabih testnih območij, in sicer z natančnostjo vsaj 0,3 m za vso Slovenijo. Na sliki 47 je z grafikonom prikazana primerjava srednjega kvadratnega odklona *m* in srednjega odklona *M* nadmorskih višin za posamezne vire, ki se jih da zapisati v obliki celične mreže, kontroliranimi z referenčnimi točkami. Prikaz je izdelan glede na preglednico 8.

Izbor in priprava virov ali delov virov, zasnova osnovnega sloja in sekundarnih virov

V *drugem koraku* sem glede na rezultate prvega koraka izmed potencialnih virov izbral tiste vire ali dele (ki se jih da zapisati kot zvezne sloje), ki so uporabni pri izdelavi DMR Slovenije. Pri tem sem se navezoval na vse pred tem izdelane ocene kakovosti virov. Geografsko sem se omejil na 10 testnih območij, saj sem imel le za te na razpolago sloj GKB-reliefa brez grobih napak. Predvsem zaradi poenostavitve obdelav sem se odločil za zasnovo *osnovnega sloja* in *sekundarnih virov* pri izdelavi DMR. Na tak način dobimo, ne glede na metodo obdelave, vedno relativno homogeno osnovo, ki jo s sekundarnimi viri izboljšujemo.

Viri so v tem koraku pripravljeni predvsem za čim bolj objektivno statistično testiranje kakovosti ter nadaljnjo predobdelavo. V ta namen so bili vsi sloji prevzorčeni na celično mrežo ločljivosti 20 m ter na enako ločljivost interpolirani tudi sloji plastnic po metodi LIDIC (razdelek 4.4.3.4). Kot osnovni (referenčni) vir za izdelavo DMR je bil izbran *GKB-relief*, saj pokriva skorajda celotno Slovenijo. Njegova kakovost je precej homogena in s tem predvidljiva ter za petino večja od primerljivega InSAR DMV 25. Izdelava osnovnega sloja pomeni torej optimizacijo postopka, pri katerem ne glede na metodo obdelave odpade medsebojno prekrivanje slojev, vključenih v osnovi sloj. Neupoštevani deli uporabljenih slojev imajo namreč tako majhno utež, da ne bi prav dosti vplivali na končni rezultat.

Na tistih goratih območjih, kjer so manjkale plastnice GKB-reliefa (pri upoštevanju regionalizacije RR), je bil uporabljen *DMR 25*, in sicer tisti del, ki ga je glede na regionalizacijo RI izdelal Geodetski zavod Slovenije, d. d. Na preostalih prazninah pa je bil predviden InSAR DMV 25. Pri podrobnem testiranju območij preostalih praznin sem prišel do deloma paradoksalne ugotovitve, da je InSAR DMV 25 (izdelan pri uporabi DMR 100) celo slabši od DMR 100! Predvsem zaradi problemov senc na radarskih posnetkih prihaja prav na najbolj strmih pobočjih do nekaterih grobih napak. Da bi upošteval InSAR DMV 25 in DMR 100 istočasno, na žalost ni bilo mogoče, saj sem imel na preostalih praznih območjih na razpolago premalo referenčnih točk za kontrolo. Preostala je enostavna odločitev, da namesto InSAR DMV 25 enostavno privzamem *DMR 100*. InSAR DMV 25 se je sicer v primerjavi z drugimi viri za ravnine izkazal predvsem geomorfološko slabši, za najbolj strme gore pa torej predvsem statistično preslab.

Za osnovni sloj je bil v odvisnosti od uporabljene metode interpolacije med plastnicami in slojema določen razmik (pas brez podatkov), ali pa prekrivajoč se pas širine 100 m (5 mrežnih celic). *Osnovni sloj* je bil torej mozaičen iz (po prioriteti):

- (1) GKB-relief; uporabljena je bila celična mreža, interpolirana po metodi LIDIC;

- (2) DMR 25; če je le mogoče, so bili uporabljeni novejši podatki in del, ki ga je izdelal Geodetski zavod Slovenije, d. d. (glede na regionalizacijo RI);
- (3) DMR 100.

Med druge, *sekundarne vire*, spadajo vsi preostali viri, skupaj s točkami. Za nadaljnje testiranje so pomembni le tisti, ki se jih da zapisati v obliki zveznih slojev. Navedeni so po vrstnem redu od slabših k boljšim:

- (4) DMR 100 za območje ravnin (glede na regionalizacijo RR); predvsem zaradi gosto izmerjenih podatkov na območjih brez plastnic sloja GKB-relief;
- (5) DMR 25; če je bilo le mogoče, so uporabljeni novejši podatki in del, ki ga je izdelal Geodetski zavod Slovenije, d. d. (glede na regionalizacijo RI);
- (6) TTN 5; uporabljena je bila celična mreža, interpolirana po metodi LIDIC;
- (7) DMR 10;
- (8) DMR 10 Ljubljane; predhodno bi bilo treba ročno izrezati območja mostov;
- (podatki za načrtovanje cest – niso bili uporabljeni, ker niso bili na razpolago za nobeno izmed desetih testnih območij).

Odstranitev sistematskih napak virov s statističnimi metodami

V *tretjem koraku* sem v največji možni meri odpravil sistematske napake posameznih virov. Pri tem sem upošteval vrednosti zveznih slojev za odpravo sistematskih napak RS_i (razdelek 5.2.1.2, dodatek B.2.2.1), izračunane glede na vrednosti srednjega odklona M (preglednica 7). Podobno primerjavo slojev brez odpravljanja sistematskih napak sta izvedla Felus in Csatho (2000). Dejansko sem upošteval pri odpravljanju napak nekoliko manjše popravke od vrednosti RS_i. Prioritetna lista vpliva posameznih skupin sistematskih popravkov je naslednja:

- značilna območja RO,
- razgibanost RR (0,5),
- nakloni RN (0,27) in
- poraslost RG (0,23).

Če sem dobil na istem območju dve ali več skupin popravkov istočasno, potem so bili bolj upoštevani tisti, ki so po prioritetni listi navedeni prej. Vrednosti popravkov značilnih območij RO (ki ne pokrivajo celotnih testnih območij) v vsakem primeru prekrijejo zadnje tri skupine. Zadnje tri skupine popravkov se vedno prekrivajo med seboj, zato sem jih utežno seštel glede na empirično določene deleže (uteži), navedene v oklepajih zgornje prioritetne liste. Tako dobljene zvezne sloje popravkov RS_i sem nazadnje prištel vsakemu izmed virov i (dodatek B.2.2.1).

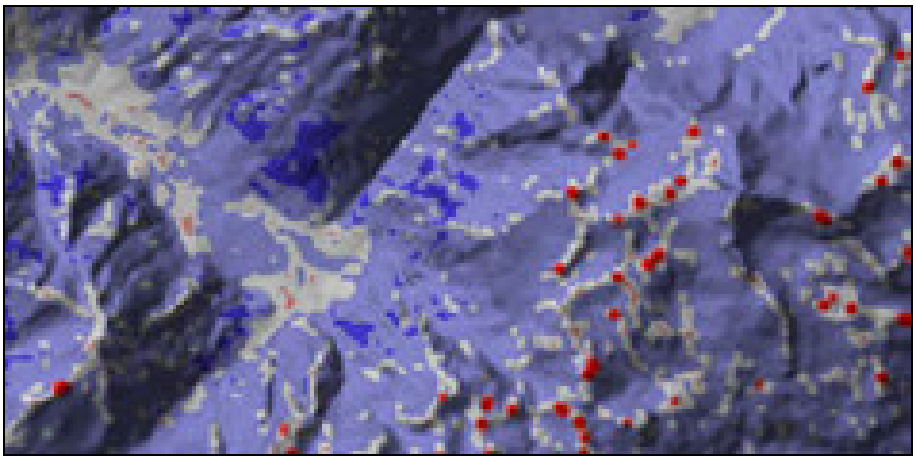
Popravljene sloje (preglednica 9) sem še enkrat testiral na enak način kot v prvem koraku (preglednica 7). Dodan je parameter M_0, ki predstavlja dejanski sistematski popravek pri upoštevanju parametra M iz preglednice 7. Glede na to, da sem se v tem koraku omejil na 10 testnih območij ter da so sloji virov že bili pripravljeni za obdelavo DMR, sem pri sloju značilnih območij RO izničil sistematske popravke za območja ravnin (določenih s slojem razgibanosti RR). Zaradi sprememb pogojev testiranja v tem koraku glede na prvega (preglednica 7), ko sem prešel iz celotne Slovenije na 10 testnih območij in na enotno ločljivost 20 m, so v oklepajih preglednice 9 navedeni primerljivi para-

metri nepopravljenih virov. Pri tem so bile sistematske napake za DMR 100 popravljane le za ravninska območja, ki so edina prišla v poštev za nadaljnjo obdelavo.

Vir (DMV) z odstranjen. sistem. napakami		Razgibanost (ravn./grič./ hrib./gorat.) [%, m, m]	Nakloni (0°–5°/5°–20°/ > 20°) [%, m, m]	Značilna obm. (vrtača/dolina sedlo/greben/vrh) [%, m, m]	Poraslost (negozd/ gozd) [%, m, m]	*Celotno območje v Sloveniji* [%, m, m]
DMR 100	*f*	71/27/2/0,1	79/20/1	0,33/6,58/ 0,54/8,16/0,69	93/7	
	m	(1,4/3,1/ 16,7/25,1)	(1,8/5,1/22,4)	(7,5/4,1/ 2,0/3,6/16,0)	(2,5/8,3)	(*10,0*)
		1,4/3,0/ 16,6/24,9	1,8/5,0/22,4	7,2/4,0/ 2,0/3,5/16,1	2,5/8,2	*9,9*
	M	(0,26/0,33/ 3,27/21,51)	(0,28/0,47/7,40)	(–3,99/0,69/ 0,32/1,11/13,12)	(0,38/0,04)	(*2,5*)
		0,26/0,26/ 3,36/21,04	0,27/0,42/7,81	–2,61/–0,51/ 0,17/0,84/11,22	0,36/0,11	*2,4*
	M_0	0,0/0,0/ –0,6/2,5	0,0/0,0/–1,0	–4,0/–0,9/ 0,5/1,6/5,0	0,0/–0,5	
DMR 25 (združen)	*f*	71/27/2/0,1	79/20/1	0,33/6,58/ 0,54/8,16/0,69	93/7	
	m	(1,9/2,7/ 5,0/20,7)	(2,0/3,1/9,0)	(2,3/2,8/ 2,0/2,6/4,3)	(2,2/3,6)	(*4,7*)
		1,9/2,7/ 4,9/20,8	2,0/3,0/9,0	2,2/2,7/ 2,0/2,6/4,2	2,2/3,6	*4,6*
	M	(1,46/1,13/ 0,59/12,92)	(1,43/1,11/0,19)	(–0,06/0,42/ 1,54/1,63/4,62)	(1,42/0,56)	(*0,9*)
		0,50/0,32/ –0,24/11,65	0,48/0,31/–0,53	–0,91/–0,44/ 0,65/0,69/2,89	0,49/–0,12	*0,1*
	M_0	1,0/0,7/0,8/0,5	0,9/0,7/0,6	0/0/0/1,1/3,5	1,0/–0,2	
DMR 10	*f*	92/8/–/–	85/15/–	–/–/15,09/1,21	100/–	
	m	(1,4/1,6/–/–)	(1,4/1,8/–)	(–/–/1,5/1,2/–)	(1,5/–)	(*1,6*)
		1,4/1,6/–/–	1,4/1,8/–	–/–/1,5/1,2/–	1,5/–	*1,6*
	M	(1,62/1,83/–/–)	(1,60/1,83/–)	(–/–/1,70/2,37/–)	(1,64/–)	(*1,6*)
		0,32/0,53/–/–	0,31/0,53/–	–/–/0,4/1,07/–	0,34/–	*0,4*
	M_0	1,3	1,3	1,3	1,3	
DMR 10 Ljubljane	*f*	82/16/2/–	90/9/1	–/4,22/ 0,18/11,84/0,06	99/1	
	m	0,6/1,6/2,8/–	0,7/1,9/3,3	–/1,3/2,7/0,9/1,3	0,9/2,5	*1,9*
	M	0,02/–0,10/ –0,53/–	0,02/–0,27/– 0,73	–/–0,07/–1,36 0,00/1,88	–0,01/–0,69	*–0,3*
	M_0	0	0	0	0	

Vir (DMV) z odstranjen. sistem. napakami		Razgibanost (ravn./grič./ hrib./gorat.) [%, m, m]	Nakloni (0°–5°/5°–20°/ > 20°) [%, m, m]	Značilna obm. (vrtača/dolina sedlo/greben/vrh) [%, m, m]	Poraslost (negozd/ gozd) [%, m, m]	*Celotno območje v Sloveniji* [%, m, m]
GKB-relief	*f*	71/27/2/0,1	79/20/1	0,33/6,51/ 0,54/8,10/0,79	93/7	
	m	(1,8/3,0/ 5,7/8,2) 1,8/3,0/ 5,7/8,2	(1,9/3,3/7,9) 1,9/3,3/7,8	(3,5/2,7/ 2,5/2,6/3,4) 3,5/2,7/ 2,5/2,6/3,3	(2,3/3,3) 2,3/3,3	(*4,3*) *4,3*
	M	(–0,21/–0,25/ 0,08/5,29) –0,21/–0,26/ 0,02/3,97	(–0,22/ –0,18/0,68) –0,22/ –0,19/0,56	(0,99/–0,20/ –0,25/–0,06/2,12) 0,98/–0,20/ –0,25/–0,06/1,66	(–0,19/–0,49) –0,19/–0,50	(*0,2*) *0,1*
	M_0	0/0/0/3,0	0/0/0,4	0/0/0/0/1,1	0	
TTN 5	*f*	44/43/12/1	61/36/3	0,30/5,90/ 1,83/7,14/1,13	91/9	
	m	–/4,1/2,9/9,9	5,0/8,4/12,0	–/9,1/ –/–/8,8	10,1/8,0	*4,6*
	M	–/–2,14/ –3,32/9,47	3,84/ 2,32/13,50	–/–5,19/ –/–/15,50	5,28/–1,39	*–0,2*
	M_0	0	0	0	0	

Preglednica 9: Frekvenca (delež) referenčnih točk *f*, srednji kvadratni odklon *m*, srednji odklon *M* kot sistematska napaka posameznega popravljenega vira (vrstice) ter popravek sistematske napake M_0. Standardna območja za kontrolo kakovosti se nanašajo na stolpce. Parametri so izračunani na glede na 10 testnih območij v Sloveniji pri enotni ločljivosti celične mreže 20 m.



Slika 48: Popravki sistematskih napak $\underline{RS}_i$ za DMR 25, prikazani za testno območje Triglava /4/ (6000 krat 3000 m). Vsi popravki so pozitivni; sivo obarvani med 0,7 in 0,9 m, modro med 0,2 in 0,7 m in rdeče med 0,9 in 3,5 m. Za ozadje so sence (popravljenega) DMR 25.

S tem korakom sem dobil sloje, pri katerih so sistematske napake *M* zmanjšane glede na prvotne za 1/3 do 2/3. Z opisano metodo in modelom se jih da torej učinkovito odpravljati. Poleg njih so zelo dobro določene pričakovane naključne napake posameznih virov. Pri tem bi lahko za popravke postavil popolnoma enake parametre M_0, kot sem jih izračunal v preglednici 7 (*M*) – in ne nekoliko manjših. Vendar je treba pri tem paziti, da

ostane ploskev reliefa geomorfološko neoporečna, kar mi je v dejanskem primeru tudi uspelo zagotoviti. Po pričakovanju se tudi naključna napaka *m* po odpravljanju sistematske malo izboljša (preglednica 9). Zanimiva je ugotovitev, da je relief na izbranih desetih testnih območjih manj razgiban, kot za celotno območje Slovenije kljub temu pa so statistično viri manj točni in natančni (glej tudi preglednico 7).

Slika 48 prikazuje popravke sistematskih napak za sloj DMR 25 na testnem območju Triglava /4/. Vsi popravki so pozitivni. Pri tem prikazuje siva barva povprečje med 0,7 in 0,9 m, modre so vrednosti med 0,2 in 0,7 m in temno rdeče med 0,9 in 3,5 m. Največje popravke opazimo na območju grebenov in vrhov, katerih območja so bila določena glede na GKB-relief. Kot problematični izstopajo nekateri izraziti vrhovi, in sicer predvsem na najbolj razgibanih območjih Alp. Tam namreč zaradi manjkajočih plastnic GKB-reliefa značilna območja RO sploh niso bila določena.

Označitev območij grobih napak in nedoločljive kakovosti virov s statističnimi metodami

V *četrtem koraku* je predvsem pri uporabi metode hkratne interpolacije virov (uporabljene pri obdelavi DMR) pomembna samodejna označitev območij in odstranitev grobih napak. Metoda označitve in izločitve temelji na izdelavi zveznih slojev RV_i po identični metodologiji kot v tretjem koraku pri odpravi sistematskih napak (glej razdelek 5.2.1.2 in dodatek B.2.2.1). Pri tem se uporablja parametre srednjih kvadratnih odklonov *m* iz preglednice 9. Podrobnosti metode so opisane kot del postopka izdelave DMR po metodi utežnega seštevanja virov v razdelku 5.4.2.2 ter v dodatku B.2.1.5. Omenjena dela postopkov je možno neodvisno uporabiti za izločitev grobih napak v procesu hkratne interpolacije virov.

V *petem koraku* lahko (opcijsko) odstranimo območja grobih napak in če jih je zelo veliko, še enkrat izračunamo posamezne opisne parametre (enako kot v preglednicah 7 in 9). Dobljene parametre srednjih kvadratnih odklonov *m* lahko nespremenjene privzamemo kot metapodatke kakovosti posameznih virov.

Pripis metapodatkov kakovosti virom

Pri popisu metapodatkov kakovosti virom ločimo pripis:

- prvotnim, nepopravljenim virom in
- virom s popravljenimi sistematskimi napakami (in odpravljenimi grobimi).

Pripis metapodatkov prvotnim, *nepopravljenim virom*, pomeni informacijo o dejanski oceni kakovosti virov, kar je pravzaprav stranski izdelek modeliranja DMR. Splošne metapodatke virov lahko v celoti shranimo v centralni evidenci prostorskih podatkov (*CEPP* 1997–2000). Podrobnejše metapodatke za vsako točko oz. mrežno celico pa lahko shranimo v obliki vektorskih slojev ali v obliki celičnih mrež. Zelo podrobni podatki natančnosti nadmorskih višin virov, ki jih lahko zapišemo kot zvezne sloje, so opisani v preglednici 7. Osnovni elementi kakovosti so navedeni v dodatku C. Pregledno pa so v preglednici 10 navedeni metapodatki zveznih slojev, skupaj s točkovnimi viri.

Metapodatki *virov s popravljenimi sistematskimi napakami* so pomembni parametri za obdelavo DMR. Vsi tovrstni pomembni parametri so navedeni v preglednici 9. V preglednici 10 so navedeni tudi nekateri parametri, ki se nanašajo na celoten vtis o kakovosti virov. V zadnjem stolpcu preglednice 10 so v prvi polovici navedene ocene o pomembnosti za uporabo. Možne so ocene od 1 do 5, med katerimi pomenita oceni 1 in 2 neprimernost za izdelavo DMR. V drugi polovici istega stolpca so potencialni viri rangi-

rani po pomembnosti za izdelavo DMR. Ocena je sestavljena iz predhodnih in dejanskih ocen ter lastnih izkušenj (subjektivnost). Za točke ni zadovoljivih dejanskih ocen, zato se nanašajo le na predhodne ocene.

Oznaka potencial. vira	Leto izvora/ zadnje obnove	Topološki tip	Merilo, ločljivost [m]	Vizualna ocena videza	Natan. (horiz./ vert.) [m]	Popol-nost	*Ocena pomembn. uporabe za DMR*	
DMR 100	1973–1984/ 1997	cel. mreža	100	prav dob-ro	10/10,5	100 %	*3*	*4*
DMR 500	1973–1975/ –	cel. mreža	500	–	–	100 %	*1*	–
DMR 25	1995–2001/ –	cel. mreža	25	neza-dostno	po letu 2000: 5/4,0	skupaj: ~75 %	*3–4*	*3*
InSAR DMV 25	1999–2000/ –	cel. mreža	25	dobro	5/5,1	100 % +	*3*	*5*
InSAR DMV 100	2000/ –	cel. mreža	100	odlično	5/6,5	100 %	*1*	–
DMR 10, 20	90. leta/ –	cel. mreža	10, 20	odlično	DMR 10: 0,4/2,5	0,07 %, 0,1 %	*4*	*13*
DMR 10 Ljubljane	90. leta/ –	cel. mreža	10	zadostno	0,5/2	2 %	*4*	*14*
DMR 10 Ljublj. gradu	90. leta/ –	cel. mreža	10	–	0,5/ 0,2 (?)	lokalno	*4*	–
'SPOT DMV 20'	1995–1999/ –	cel. mreža	20	–	5–10/14	100 % +	*2*	–
GTOPO30	postopna izdelava	cel. mreža	500	zadostno	ni podat. /25	100 % +	*2*	–
GKB-relief	1994–1997/ redno	črta	1 : 25.000	dobro	13/4	100 % +	*5*	*1*
GKB-hidrografija	1994–1997/ redno	območje, črta	1 : 25.000	dobro	13/ ni podat. višin	100 % +	*5*	*7*
GKB-železnice	1994–1997/ redno	območje, črta	1 : 25.000	dobro	15/ ni podat. višin	100 % +	*3*	*16*
GKB-ceste	1994–1997/ redno	črta	1 : 25.000	dobro	15/ ni podat. višin	100 % +	*3*	*15*
Razvodnice	90. leta/ –	črta	1 : 25.000	neza-dostno	> 30/ ni podat. višin	100 %	*1*	–
TTN 5, 10 (plastnice)	90. leta/ –	črta	1 : 5000, 1 : 10.000	prav dob-ro	TNP: 3 – ali slabša /3,5	lokalno; TNP: 0,09 %	*5*	*2*
TBVN	1997–2005/ –	območje, črta, črta	1 : 5000	–	3/1 (?)	lokalno	*5*	

Oznaka potencial. vira	Leto izvora/ zadnje obnove	Topološki tip	Merilo, ločljivost [m]	Vizualna ocena videza	Natan. (horiz./ vert.) [m]	Popol-nost	*Ocena pomembn. uporabe za DMR*	
Podatki za načrt. tras AC (plastn.)	90. leta in kasneje/ –	črta, točka	velika me-rila	odlično	< 1/1,5	lokalno	*5*	
Geodet. t. (razen na-vedenih)	različno	točka	–	enako-merno, redko	0,2/0,5	raztre-seno	*5*	*8*
Nivelman. t.	različno	točka	–	–	0,5/0,1	raztre-seno	*3*	–
Mejne točke	različno	točka	–	–	–	raztre-seno	*4*	–
ZK-točke	različno	točka	–	neenako-merno, gosto	0,2/1	raztre-seno	*4*	*11*
CBPS	1998–2002/ –	točka	–	neenako-merno, gosto	1/1	80 %	*4*	*10*
Kóte (TTN 5 in 10, DTK 25)	formalno niso v dig. obliki	točka	1 : 5000–1 : 25.000	enako-merno, redko	2–10/2	pogosto značilni položaji	*5*	*6*
Druge točke		točka		–	–/0,5	raztre-seno	*5*	*9*
DOF 5	1995–2001/ –	cel. mreža	0,5 m (1 : 5000)	–	1/ ni podat. višin	75 %	*2*	–
Plastnice TTN 5, 10, DTK 25	1993–1995/ redno	skenogram	300–400 dpi (1 : 5000, 1 : 25.000)	–	2/ ni podat. višin	71 %	*2*	–
3D modeli mest	90. leta/ –	TIN, poli-edri ipd.	–	–	–	lokalno	*3*	–
refDMV	2000/ –	cel. mreža	10	prav dob-ro	–/4,7	100 %		

Preglednica 10: Primerjava potencialnih virov z oceno pomembnosti uporabe za izdelavo DMR.

5.3.2 Dodajanje/reduciranje podatkov

Pri dodajanju oz. reduciranju podatkov ne gre za odstranjevanje grobih ali sistematskih napak, temveč za popravljanje virov z namenom geomorfoloških izboljšav ali dodatne priprave za učinkovitejšo obdelavo DMR. Rezultati interpolacije DMR bi bili v večini primerov precej slabi, če ne bi imeli na voljo značilnih točk in črt reliefa ter primerno gostih podatkov na najbolj razgibanem površju. To poskušam doseči s popravljanjem porazdelitve virov. Zanimiva so izhodišča in problemi pri kombiniranju več virov za izdelavo DMR, ki jih je postavil Carrara et al. (1997). Do podobnih izhodišč sem prišel večina neodvisno pri testnih izdelavah DMR tudi sam, in sicer:

- vrednosti nadmorskih višin točk se ne smejo razlikovati za več kot 5 % intervala plastnic (vrednosti blizu plastnic morajo imeti približno enako vrednost kot plastnice);
- točke, ki padejo med dve plastnici, morajo imeti vrednost, ki je med vrednostima obeh plastnic;
- še več, točke med plastnicami morajo biti porazdeljene praktično linearno;
- DMR mora upoštevati pravo oblikovanost površja tudi na območjih širokih dolin;
- porazdelitve nadmorskih višin točk, ki predstavljajo lažne geomorfološke značilnosti, ne smejo predstavljati več kot 0,1 do 0,2 % celotnih podatkov.

Prve tri kriterije velja upoštevati predvsem pri vključevanju podatkov posameznih raztresenih točk v postopek interpolacije, npr. geodetske točke hkrati s plastnicami, ne pa tudi za zvezne ploskve DMV z gostoto, ki je primerljiva plastnicam. S plastnicami GKB-reliefa se lahko v našem primeru primerja DMR 25, na nekaterih območjih pa celo DMR 100. Problem lahko rešimo tudi s tem, da damo raztresenim točkam (ki so sicer večje natančnosti) prav zaradi omenjenih problemov manjšo utež kot plastnicam. V disertaciji se srečujem tudi s problemi, podobnimi tistim v četrti alineji. Zadovoljivo jih rešujem pri predobdelavi z relativno dobro metodo interpolacije (LIDIC). Peti kriterij je najbolj subjektiven in ga rešujem predvsem z vizualno kontrolo kakovosti.

Namen vseh podrazdelkov dodajanja in reduciranja podatkov je predvsem izboljšava izdelave DMR na osnovi plastnic GKB-reliefa, opisujejo površje mnogo bolje kot npr. po večini znanih metod iz njih interpoliran DMR. Teoretični del reduciranja in dodajanja podatkov je opisan v razdelku 4.4.3. Če želimo spoznati in nato upoštevati vse zahtevane pogoje je smiselno izdelati najprej DMR pri uporabi virov brez izboljšav dodajanja in reduciranja podatkov. Tega sem se do neke mere držal pri izdelavi refDMV ter pri tem ugotovil še druge zakonitosti, ki jih obravnavam v razdelkih 5.4.2.5 in 5.5.1.2. Glavni problemi dodajanja in reduciranja podatkov, ki so opisani v nadaljevanju, so naslednji:

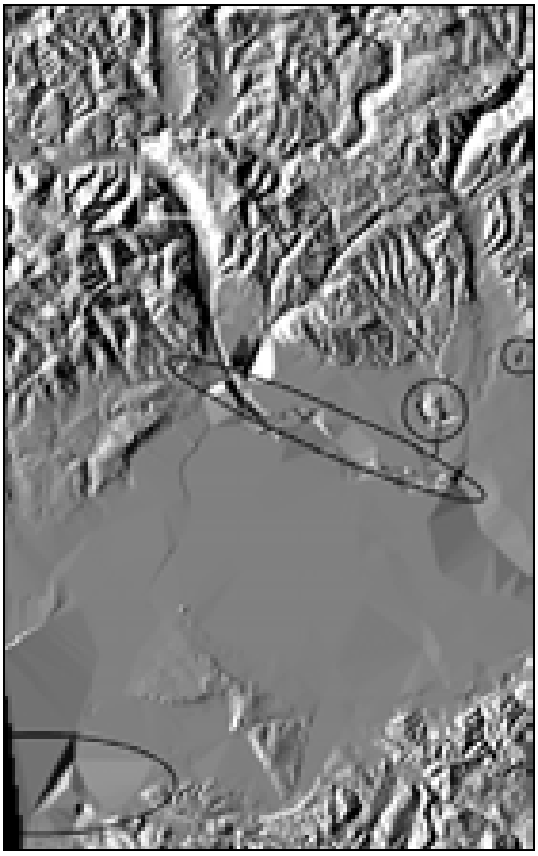
- samodejno atributiranje podatkov,
- samodejno zgoščevanje podatkov,
- ročni zajem dodatnih podatkov,
- samodejno reduciranje odvečnih podatkov,
- samodejno spreminjanje geomorfološko nepravilnih podatkov in
- pripis metapodatkov kakovosti pridobljenim podatkom.

5.3.2.1 Samodejno atributiranje podatkov

Nekatere podatke virov, ki nimajo atributa nadmorske višine *H*, bi lahko uporabil pri izdelavi DMR, če bi jih uspel primerno atributirati. To bi najlažje storil s samodejnimi metodami. Na tak način bi s podatki razvodnic in rečne mreže GKB-hidrografije pridobil dodatne značilne črte reliefa. Najprimernejša in logična (isti vir) osnova za dodajanje atributov omenjenim virom so plastnice GKB-reliefa. Pri tem sem uporabil t. i. metodo dvorazsežnih presekov. Metoda izvaja enostavne preseke trianguliranih plastnic GKB--reliefa s črtami brez atributa nadmorskih višin.

Na sliki 49 je na primeru testnega območja Krškega /1/ prikazan primer rezultata iskanja presečišč med črtami rek in plastnicami z linearno interpolacijo ali ekstrapolacijo (če interpolacija ni možna). Vidi se, da je dolina reke Save na območjih, kjer se njena črta ne seka s plastnicami, večinoma preveč poglobljena. Še do večjih napak DMR pride pri ekstrapolaciji te črte na desnem robu slike: ko priteče Sava v ravnino, ni več nobenega presečišča (opore) dvorazsežne črte, ki jo predstavlja, s plastnicami. Na desni sliki je detajl vektoriziranih plastnic GKB-reliefa ob strugi reke Save, kjer se vidi, da ni na območju doline nobenih plastnic. Te so bile namreč vektorizirane strogo kartografsko, kar se vidi po prekinitvah na območjih reke in potokov ter treh kamnolomov.

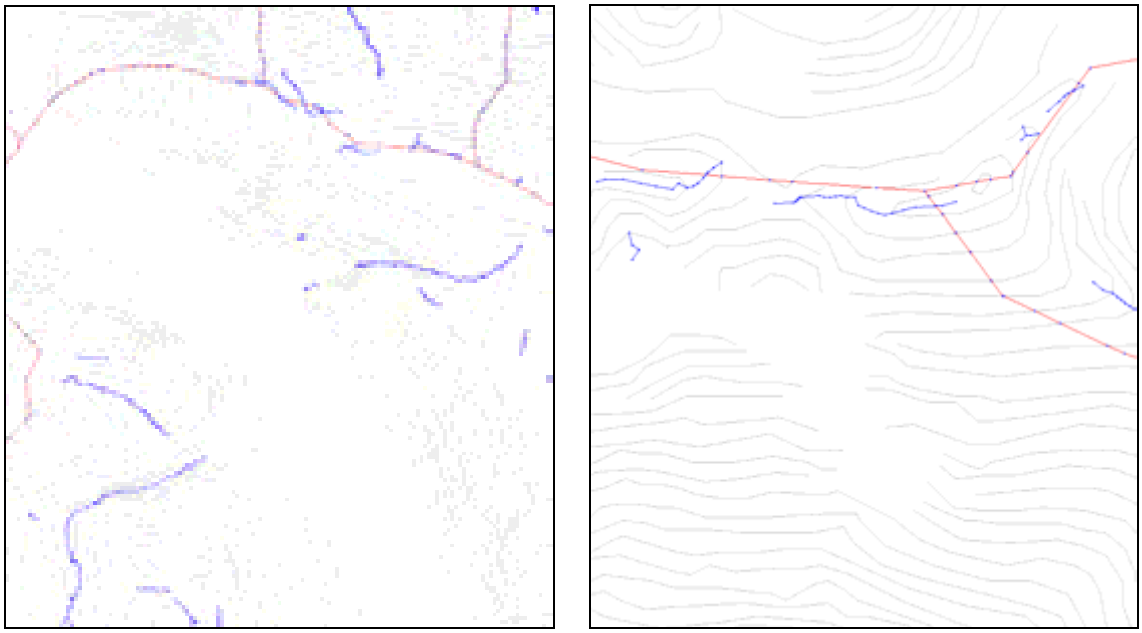
Prav ekstrapolacija privede v večini praktičnih primerov do grobih napak. Problem bi se dalo do neke mere rešiti z možnostjo izločitve ekstrapolacije ali pa z omejitvijo (pragom) ekstrapolacije do dovoljene dolžine. Boljša rešitev bi bila iskanje presečišč s plastnicami pravokotno levo in desno od vozlišč ekstrapoliranih črt. Posamezne lomne točke črte reke bi bile potem določene z ekstrapolacijo vrednosti dveh ali treh plastnic, pravokotnih na črto reke. Deloma sem rešil problem napak ekstrapolacije TIN na robovih območij, in sicer z izdelavo dvorazsežnega »okvira«, ki sem ga samodejno atributiral z metodo dvorazsežnih presekov s plastnicami GKB-reliefa.



Slika 49: Vizualizacija senc DMR, izdelanega iz nepopravljenih plastnic GKB–reliefa ter presekov črt potokov in rek (linearna interpolacija višine *H*) za testno območje Krškega /1/ (11.250 krat 18.000 m; levo). Na desni sliki je detajl (na levi sliki označen z belim okvirjem) plastnic GKB–reliefa ob strugi reke Save.

Nekoliko drugačen problem prikazuje slika 50. V tem primeru ne gre za problematično interpolacijo značilnih črt, temveč za uporabo iz DTK 25 ročno digitaliziranih razvodnic kot značilnih črt površja. Razvodnice (rdeče črte) brez znanih podatkov višin in plastni-

ce GKB-reliefa (sive črte) so prikazane za dva manjša dela testnih območij Krškega /1/ in Alp /2/. Za primerjavo so dodane tudi iz GKB-relief samodejno ustvarjene značilne črte (modro; glej tudi razdelek 5.3.2.2 in dodatek C.12). Vidi se, da črte razvodnic ponekod izrazito odstopajo od grebenov, ki jih definirajo plastnice GKB-reliefa, podobno pa odstopajo tudi od samodejno ustvarjenih značilnih črt. V primerih, ko ležijo črte razvodnic na neizrazitih grebenih, sploh ne bi igrale nobene vloge pri izboljšavi izdelave DMR. Poleg tega gredo te črte tudi prek dolin in bi v tem primeru lahko močno škodile pravilnemu geomorfološkemu modeliranju DMR. Odločil sem se, da razvodnic ne uporabim pri izdelavi DMR.



Slika 50: Prekrivanje plastnic GKB–reliefa (sive črte) in razvodnic (rdeče črte) ter iz GKB–reliefa samodejno ustvarjenih značilnih črt (modro) za detajla testnih območij Krškega /1/ (levo) in Alp /2/ (desno).

5.3.2.2 Samodejno zgoščevanje podatkov

Podatke samodejno zgoščujemo po metodah, analognih selektivnemu in stopnjujočemu vzorčenju. Praktično sem zgoščevanje podatkov izvajal na osnovi TIN in celične mreže pri uporabi plastnic GKB-reliefa. Teoretične osnove samodejnega zgoščevanja podatkov so opisane v razdelkih 4.4.3.3 in 4.4.3.4.

Analogija selektivnemu vzorčenju

Pri iskanju značilnih točk in črt na osnovi TIN sem dobil relativno dobre rezultate. Nepredvidljive povezave so lahko nastale predvsem na območjih pomanjkljivo digitaliziranih ali manjkajočih plastnic na samem viru. Na sliki 51 vidimo take nepravilne povezave značilnih črt (živo zeleno) prek široke struge reke Save na testnem območju Bleda /5/. Videti je, da ima plastnica na severni strani povezave vrednost 427,5 m, na južni pa 430 m. Gre torej za običajno povezavo med najbližjima plastnicama različnih višin, čeprav bi morali imeti na obeh straneh struge isto višino. Nekaj takih napak sem lahko rešil z izdelavo maske, preostale pa za ročnim odstranjevanjem. Podobni problemi nastanejo v primeru pretrganih plastnic pri samodejnem določanju značilnih točk, ki lahko dobijo napačno višino in položaj, ali pa ostanejo nedoločene.

Slika 51: Napaka pri iskanju značilnih črt na območju struge reke Save (srednja in tri spodaj desno živozelene črte) za detajl testnega območja Bleda /5/.

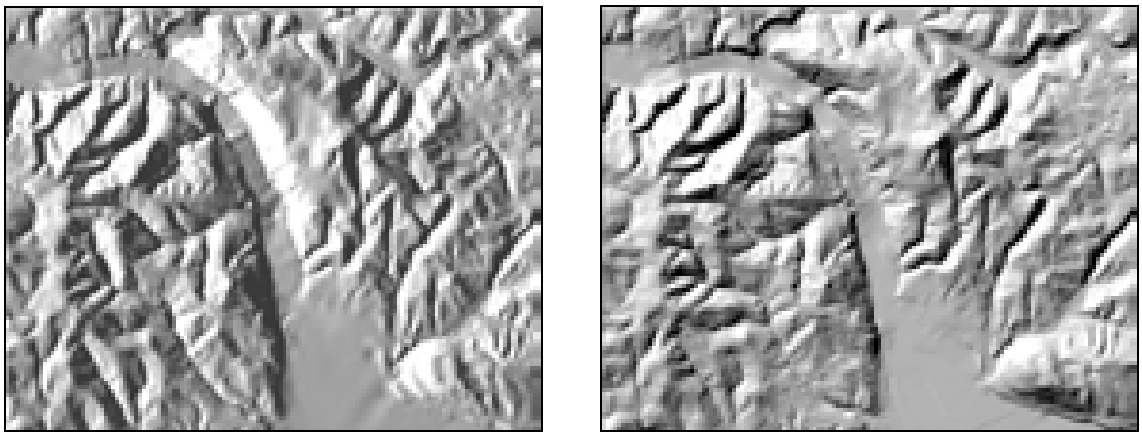
Analogija stopnjujočemu vzorčenju

Z metodo, analogno stopnjujočemu vzorčenju, sem vzorčil ploskev, interpolirano iz plastnic GKB-reliefa, s celičnimi mrežami različnih ločljivosti. Pri tem sem celotno območje prekril s celično mrežo ločljivosti 44 m, z ločljivostjo 22 m nekoliko bolj razgibano površje ter z ločljivostjo 11 m najbolj razgibana območja. Navedene vrednosti ločljivosti sem izbral empirično predvsem pri upoštevanju kakovosti sloja GKB-reliefa, gostote plastnic (regionalizacije $\underline{RD}_i$ iz spremenljivk L_i) in rezultatov predhodnih preizkusov na majhnih testnih območjih. Vrednosti posameznih celic so odgovarjale vrednostim osnovnega sloja DMR, izdelanega z metodo TIN ali LIDIC (celična mreža). Ločljivosti celične mreže so odgovarjale trem kategorijam razgibanosti površja (razdelek 5.2.1.2; analogno regionalizaciji $\underline{RR}$).

TIN, ki sem ga uporabil po prvi varianti, je bil predhodno izboljšan po analogiji selektivnega vzorčenja. Celične mreže treh različnih ločljivosti sem dobil z linearno interpolacijo TIN. Podobno sem uporabil DMV, izračunan na osnovi metode LIDIC. Želene gostote mrež sem dobil s prevzorčenjem. Rezultati slednje metode so se izkazali za boljše.

Pri določitvi območij za zgostitev podatkov bi si lahko dodatno pomagal z uporabo dovolj natančne geološke karte, s pomočjo katere bi določil meje aluvijalnih nanosov, kjer so ponavadi precej izraziti prevoji med ravnim dnom doline in okoliškimi bregovi. Slika 52 prikazuje primerjavo senčenih DMV glede na različni metodi interpolacije plastnic GKB-reliefa brez dodatnih podatkov na delu testnega območja Krškega /1/. Levo je prikaz glede na linearno interpoliran ter nekoliko zglajen TIN, na desni pa je prikazana ce-

lična mreža, izdelana po metodi LIDIC (razdelek 4.4.3.4). Vidimo, da dobimo z interpolacijo po metodi LIDIC na območjih, kjer plastnice manjkajo (široka dolina reke Save), opazno boljše rezultate.



Slika 52: Primerjava interpolacij plastnic, levo s TIN in desno z LIDIC. Senčen je del testnega območja Krškega /1/ (7200 krat 5100 m).

5.3.2.3 Ročni zajem dodatnih podatkov

Pri ročnem zajemu virov za izdelavo DMR gre za enostavno dodajanje tistih podatkov, ki so najpomembnejši za izboljšavo obstoječih podatkov različne kakovosti. Kljub temu, da se ročni zajem podatkov ne ujema z osnovno hipotezo disertacije (razdelek 1.2), sem jih vseeno nekaj testno zajel. Pri tem na splošno ločimo:

- atributiranje obstoječih virov z vrednostmi nadmorskih višin *H*,
- (grafični) zajem dodatnih podatkov, skupaj z nadmorskimi višinami *H*.

Zajem nadmorskih višin H

Najenostavnejša in smiselna dopolnitev obstoječih podatkov je atributiranje sloja GKB--hidrografije. Območja jezer in drugih stoječih voda opremimo ročno z nadmorskimi višinami *H*, s čimer dobimo najnatančnejše podatke. Samodejne metode atributiranja višin jezer so se namreč izkazale za le pogojno sprejemljive. Med njimi omenjamo metodo samodejnega atributiranja višin jezer *H* z iskanjem presečišča ploskve oboda vodnih površin s ploskvijo DMR. Višina je v tem primeru izračunana kot srednja vrednost presečiščne črte. Zaradi bregov, ki so vedno nad jezeri, dobimo pri taki interpolaciji vedno previsoke ploskve jezer. To vrednost bi sicer lahko izkustveno znižali. V nekaterih primerih dobimo boljši rezultat, če vzamemo za višino *H* kar najnižjo točko na presečni črti. Če bi upoštevali dejstvo, da imajo navadno jezera površinski pritok in odtok (kar sicer ne velja za vsa kraška jezera), bi lahko določili njihovo višino z izdelavo hidrološko neoporečnega DMR. Pri tem bi privzeli točko pritoka ali bolje odtoka iz jezera kot nadmorsko višino jezera.

Zajem podatkov z vrednostmi nadmorskih višin H

Pri ročnem zajemu podatkov, skupaj z atributi, gre za osnovne tri možnosti:

- geodetske (terenske) meritve,
- kartografsko gradivo,

- fotogrametrični zajem.

Za testna območja so bile zajete le *kóte* z DTK 25 in druge vrednosti nadmorskih višin, ki predstavljajo značilne točke, predvsem vrhove. Kóte so tako pomembne (in enostavno pridobljive) značilne točke, da bi jih bilo pri izdelavi DMR Slovenije smiselno zajeti iz celotnega kartografskega gradiva. Z njimi lahko tudi učinkovito kontroliramo samodejne metode ekstrapolacij za zajem značilnih točk glede na okoliške plastnice.

Nadalje bi bilo smiselno zajeti dodatne *plastnice* in *padnice* ter druge *značilne črte* in *točke* z DTK 25, ki jih sloj GKB-reliefa ne vsebuje. Pri tem gre predvsem za območja, kjer plastnice niso bile zajete s polsamodejno vektorizacijo. V vsakem primeru bi bilo treba na takih območjih zajeti dodatne podatke, vsaj plastnice (oblikovnice), ki nakazujejo potek reliefa z ekvidistanco 50 m. Posebno pozornost bi bilo treba nameniti tudi najbolj razgibanim območjem in pomembnim prevojem reliefa, npr. pri prehodom s hribov v ravnine. Dober primer je oster prehod z brega v dolino z ravnim dnom, kakršna je dolina Save pred Krškim (slika 52). Na strmem delu so namreč plastnice zelo goste, na ravnem jih pa ni. Po interpolaciji DMR dobimo lažno zaobljen prehod na območju brez plastnic, namesto da bi dobili ravno ploskev dna doline. Rešitev je zgostitev podatkov na območju prevoja. Zelo pomembno in hkrati relativno enostavno ter poceni izboljšanje sloja GKB-reliefa je tudi sklenjevanje plastnic na območjih, kjer so bile kartografsko prekinjene (območja naselij, cest, vodotokov ipd.). Pri tem je treba ob pomoči GKB--hidrografije in skenogramov DTK 25 (plastnice) skleniti le tista območja plastnic, za katera smo prepričani, da ne pokvarimo dejanskega stanja.

Za izdelavo DMR bi bilo smiselno fotogrametrično ali morda celo z meritvami GPS zajeti dodatne podatke tudi na območjih, kjer ni na razpolago plastnic iz kartografskega gradiva, drugi podatki pa so premalo kakovostni. Na takih območjih vseeno lahko obstajajo posamezne točke, izmerjene z geodetskimi meritvami, ki pa ne zadostujejo za izdelavo DMR. Pri tem mislimo predvsem na *urbana območja*, *kamnolome*, *gramoznice* ipd. S posebnim metapodatkovnim slojem sem precej območij, ki bi jih sicer moral izboljševati z ročnim zajemom, dejansko označil kot območja z nezadostno in nedoločljivo kakovostjo (razdelek 5.2.1.2).

5.3.2.4 Samodejno reduciranje odvečnih podatkov

Samodejno reduciranje odvečnih podatkov (regionalizacija RL) pride v poštev takrat, ko so istovrstni podatki (npr. ZK-točke ali potencialni podatki laserskega skeniranja) porazdeljeni prostorsko preveč na gosto glede na ciljno ločljivost DMR (razdelka 4.2.2 in 5.3.2). S tem se zmanjša količina podatkov posameznih virov ter posledično zahtevnost obdelave DMR. V disertaciji tega problema nisem praktično impliciral, saj sem imel na razpolago dovolj zmogljiv računalniški sistem, poleg tega pa sem največ poskusov izvajal na relativno majhnih testnih območjih.

5.3.2.5 Samodejno spreminjanje geomorfološko nepravilnih podatkov

Pri metodah samodejnega spreminjanja geomorfološko nepravilnih podatkov gre za geomorfološke analize reliefa in ustrezno temu za reduciranje nepravilnih podatkov, v nekaterih primerih pa celo za dodajanje, npr. pri hidroloških analizah. Obravnavane so naslednje metode:

- izločanje raztresenih točk v (neposredni) bližini skeleta reliefa,
- metoda grobe ocene (izločanje točk) in

- hidrološke analize (in spreminjanje podatkov pri tem).

Izločanje raztresenih točk v bližini skeleta reliefa

V neposredni bližini značilnih črt ali točk ter natančnejših geodetskih točk pride lahko pri uporabi različnih virov do geomorfoloških nepravilnosti. Podatki skeleta reliefa so lahko kombinirani s statistično natančnejšimi podatki (npr. z geodetskimi točkami), ki pa lahko pokvarijo geomorfološke značilnosti (npr. okolice rek). Zato je smiselno iz okolice skeleta reliefa nekaj podatkov raztresenih točk odstraniti. S takšnim kompromisom geomorfološko izboljšamo izdelek DMR, medtem ko ga statistično bistveno ne pokvarimo. Praktično sem izločal podatke slabše kakovosti samodejno, in sicer z izdelavo ovojnic določenega obsega okoli kakovostnih podatkov ter izločitvijo raztresenih točk slabše kakovosti (regionalizacija RB). Pri tem je šlo v primeru rečne mreže največkrat za okolico 10 do 50 m (spremenljivka *H*).

Metoda grobe ocene

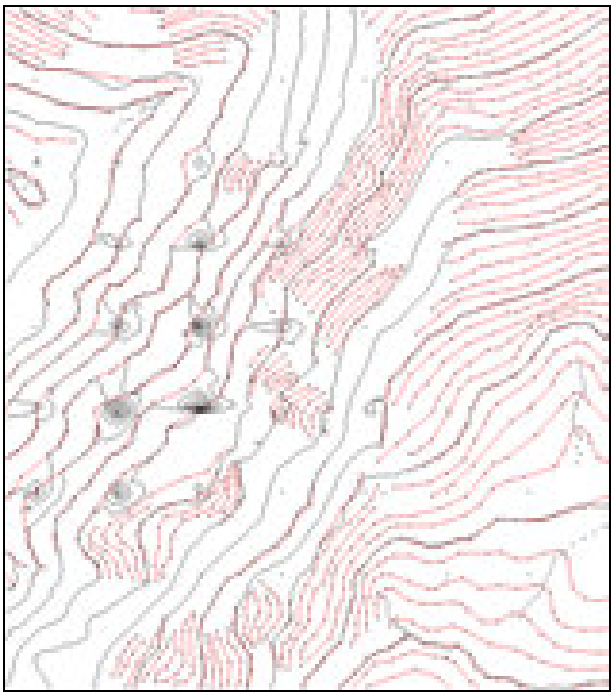
Metoda grobe ocene (angl. robust estimation) temelji na statističnem izločanju tistih točk, ki preveč odstopajo od ploskve DMR oz. niso dovolj avtokorelirane. Algoritem, ki sem ga uporabljal, je bil izdelan kot dodatek programa SCOP (modul SCOP.DTM) za samodejno izločanje napačnih točk višin, zajetih z laserskim skeniranjem. Na območjih gozdov se namreč pri skeniranju nekatere višine beležijo glede na laserske žarke, odbite z vrhov dreves, kar pa ni primerno za izdelavo DMR (Kraus in Pfeifer 1998; Kraus in Rieger 1999; *SCOP* 1999).

Metodo gobe ocene je za izboljšavo DMR pri uporabi različnih podatkov uporabil Ecker (1999), pri čemer je izločal grobe napake posameznih slojev, in jih potem z interpolacijo kombiniral med seboj. Na podoben način sem uporabil metodo grobe ocene v disertaciji, pri čemer sem izločal tiste točke, ki se niso dovolj dobro prilegale osnovnemu sloju za izdelavo DMR. Samih podatkov osnovnega sloja, ki vsebuje predvsem GKB-relief ter v primeru uporabe metode hkratne interpolacije virov tudi podatke, izračune za zgoščevanje podatkov analogno s selektivnim in stopnjujočim vzorčenjem, torej nisem izločal. Izločene napake bi težko štel med grobe, saj gre v nekaterih primerih za točke z večjo natančnostjo od osnovnega sloja, vendar preveč odstopajo od njega oz. so premalo avtokorelirane z njim, s čimer kvarijo obliko ploskve DMR. Večino grobih napak sem pred uporabo metode grobe ocene izločil s t. i. 'metodo varianc' (razdelek 5.3.1). Metodo grobe ocene uporabljamo torej istočasno z interpolacijo DMR. Pri tem je smiselno izločene točke vizualno pregledati in ugotoviti vzroke izločanja.

Pred uporabo metode grobe ocene moramo dobro poznati parametre naključnih napak virov, ki so podani v preglednici 9. Pri tem je treba pazljivo določiti srednjo, kompromisno vrednost parametrov, saj (zaradi omejitve programa) ne moremo implicirati različnih vrednosti uteži. Pri izvajanju metode sem moral biti pazljiv predvsem na geomorfološko zelo razgibanih območjih Alp, da ne bi izločil tudi pravilnih točk, ki predstavljajo ostre vrhove. Slednji problem se da rešiti z dodatno zgostitvijo osnovnega sloja na potencialno problematičnih območjih. Ob tem predlagam tudi samodejno kontrolo pravilnosti točk, izločenih po opisani metodi grobe ocene. Pri tem primerjamo izločene točke s slojem razgibanosti površja RR. Če ležijo te točke na zelo razgibanem območju, jih lahko po postavljenem kriteriju vrnemo nazaj v prvotni sloj.

Slika 53 prikazuje samodejno ustvarjanje plastnic (črne črte) prek sloja GKB-reliefa (rdeče črte) in hkrati prek sloja DMR 100 (črne pike) na delu testnega območja Alp /2/. Podatki se na nekaterih območjih zelo strmega pobočja ne ujemajo, kar je opaziti kot

močno zgoščene samodejno ustvarjene plastnice v obliki lažnih vrtač. V tem primeru se namreč grobe napake točk DMR 100 niso izločile pri primerjavi z referenčnim DMV po 'metodi varianc'. Vzrok je v tem, da ležijo na zelo strmem bregu, kjer je bil prag izločitve napačnih točk sloja RU postavljen ustrezno zelo visoko. V takem primeru se pokažejo prednosti metode grobe ocene, s katero so bile napačne točke DMR 100 izločene.

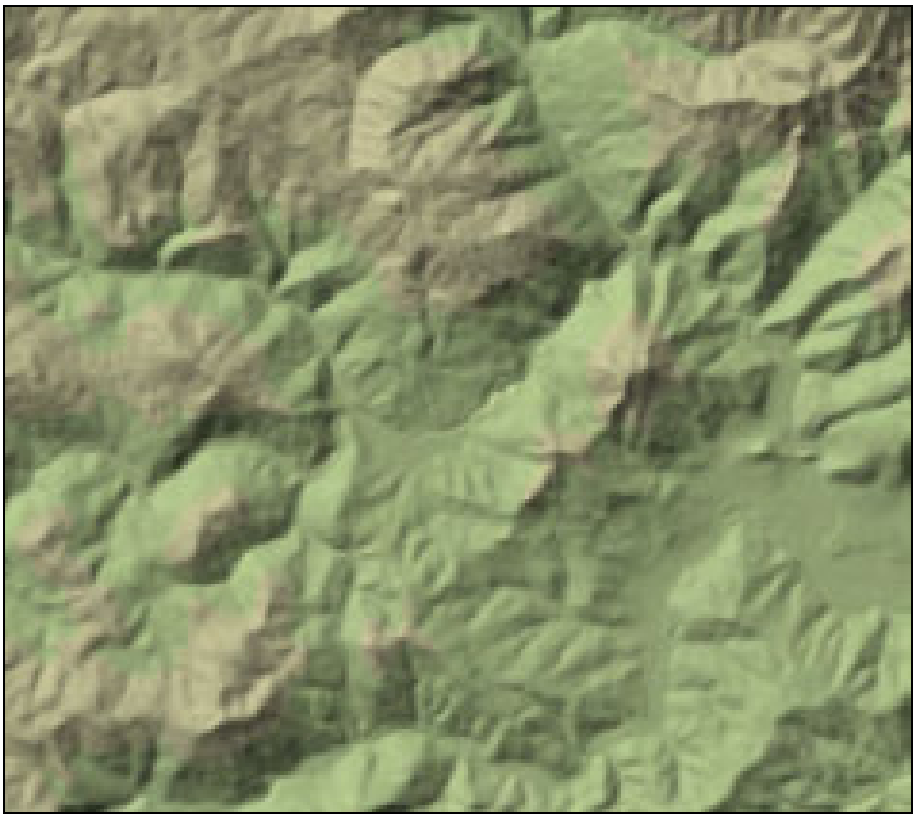


Slika 53: Napake, označene s samodejno ustvarjenimi plastnicami (sivo), ki jih najlažje izločimo z metodo grobe ocene. Rdeče so plastnice GKB–reliefa.

Hidrološke analize

Pri hidroloških analizah (v smislu geomorfološkega izboljšanja) površja gre pri metodi hkratne interpolacije virov za zadnje postopke predobdelave. Pri metodi utežnega seštevanja virov pa gre za zadnji korak obdelave (razdelek 5.4). Pri analizah sem upošteval območja vboklin (regionalizaciji RH in RO), območja hidrološke mreže iz GKB-reliefa (spremenljivka *H*) ter pogoj, da se mora voda iztekati iz jezer.

Postopek izboljšav s hidrološkimi analizami sem podrobneje analiziral v povezavi z metodo utežnega seštevanja virov (razdelek 5.4.2.5) kjer so navedeni statistični parametri analiz DMR glede na izboljšave s hidrološkimi analizami. Več teorije o tovrstnih analizah je v razdelku 4.4.4, zanimivi posamični poskusi pa so prikazani na slikah 17 in 18. Izboljšanje s hidrološkimi analizami sem izvajal z interpolacijo predhodno izdelanega DMR s programom Topogrid z upoštevanjem obstoječih vodotokov (Hutchinson 1988). Izključno podatke okolice rečne mreže sem »mehko« vpel nazaj v prvotni DMR in dobil geomorfološko pravilnejši DMR. Pri upoštevanju naravnega površja so se zelo dobro obnesle označene vrtače (slika 54), medtem ko so se na urbanih območjih in večjih ravninah manj, saj so v GKB-reliefu največkrat pomanjkljivo označene.



Slika 54: DMR, izboljšan s hidrološkimi analizami na testnem območju Polhovega Gradca /9/ (6750 krat 6000 m). Izboljšave se opazijo predvsem po poudarjenih strugah rek v soteskah (bolj ostre sence).

5.3.2.6 Pripis metapodatkov kakovosti pridobljenim podatkom

Metapodatki o kakovosti posameznih virov so navedeni v preglednici 7. Parametri uteži za izdelavo DMR so za celično mrežo, pridobljeno po analogiji stopnjujočega vzorčenja iz GKB-reliefa, enake kot za prvotne plastnice. Nekoliko višje vrednosti so za uteži značilnih črt in točk, pridobljenimi iz GKB-reliefa po analogiji selektivnega vzorčenja. Kode dodatno pridobljenih podatkov so navedene v razdelku 5.2.3.

5.4 OBDELAVA DMR IZ VIROV

Pri praktični obdelavi virov se osredotočam na tiste možnosti izdelave, navedene v razdelku 3.3, za katere sem pri predhodnih analizah ugotovil, da dajejo v vseh pogledih najustreznejše rezultate za vso Slovenijo. Pri tem se je pri vsaki možnosti izdelave našlo območja ali kombinacije podatkov, pri katerih sem dobil najboljše rezultate. V nadaljevanju se naslanjam predvsem na naslednji možnosti »vzporednega« prekrivanja slojev (pri čemer sem za izdelavo osnovnega sloja uporabil mozaičenje):

- metoda hkratne interpolacije virov (Podobnikar et al. 2000),
- metoda utežnega seštevanja virov.

5.4.1 Metoda hkratne interpolacije virov

Pri metodi hkratne interpolacije virov sem uporabil vire, izbrane iz preglednice 3. Ti so bili dodatno in natančno obdelani z izločitvijo sistematskih in grobih napak med postopki predobdelave (razdelek 5.3). Posameznim skupinam virov (gre za posamezne točke in črte) so bile glede na kode (razdelek 5.2.3) in pri upoštevanju parametrov kakovosti popravljenih virov $\underline{RV}_i$ ter geomorfoloških značilnosti dodeljene vrednosti uteži oz. filtriranja. Pri poskusih sem rezultate sproti vizualno in statistično kontroliral. Najprimernejši parametri interpolacije so navedeni v preglednici 11.

Koda	Utež (filter)
raztresene točke	1,5
značilne točke	0,3
oblikovne črte	1,0
lomne črte	0,5

Preglednica 11: Parametri uteži (filtrov) za posamezne skupine kodiranih podatkov.

Za osnovno ločljivost celične mreže v DMR sem izbral vrednost 20 m (razdelek 4.2.2). Uporabil sem približno interpolacijsko metodo 'linearne predikcije' oz. kriginga (razdelek 4.4.2.1). Interpolirani so bili hkrati tako točkovni in linijski viri kot tudi zvezni sloji (po posameznih točkah). Pri upoštevanju vrednosti posameznih uteži oz. filtriranja točk in črt virov je bila z linearno predikcijo izračunana ploskev DMR, zapisana s hibridno strukturo. Poleg vrednosti uteži virov (in nekaterih parametrov same interpolacije) je bila zelo pomembna tudi uporaba podatkov primerne gostote glede na oblikovanost zemeljskega površja. To sem dosegel predvsem z metodami po analogiji stopnjujočega in selektivnega vzorčenja (razdelek 5.3.2.2). Med samo interpolacijo sem med drugimi upošteval pogoja, da morajo biti površine stoječih voda predstavljene z ravnimi in horizontalnimi ploskvami ter da se položaj lomnih črt rek (v horizontalnem in vertikalnem smislu) ni smel spreminjati.

Naknadnega glajenja s filtriranjem ni bilo treba izvajati, saj ga vključuje že sama interpolacijska metoda. Metoda hkratne interpolacije virov kaže na podobne rezultate, kot po metodi utežnega seštevanja virov (razdelek 5.4.2). Vendar je z linearno predikcijo interpoliran DMR geomorfološko nekoliko bolj zglajen in hkrati pravilnejši. Pri tem je treba za dosego dobrih rezultatov zelo veliko dela pri predobdelavi, predvsem pri dodajanju podatkov (razdelek 5.3.2). Izdelek – DMR, zapisan v obliki hibridne strukture, je bil za širši krog uporabnikov spremenjen v enostavno strukturo DMV 20 (celična mreža).

5.4.2 Metoda utežnega seštevanja virov

Metoda utežnega seštevanja virov da glede na metodo hkratne interpolacije virov (razdelek 5.4.1) dobre rezultate z manj truda pri predobdelavi, vendar z nekaj več spretnosti pri obdelavi. Zaradi uporabe enostavne strukture DMV je numerično manj zahtevna, čeprav bi lahko uporabljal DMR. Pri obdelavi se uporablja vse popravljene vire, ki se jih da zapisati kot zvezni sloj (navedeni so na začetku razdelka 5.3.1.4). Pri tem se da (opcijsko) upoštevati tudi sloje (referenčnih) točk, ki so bili pred tem rastrirani v manjša

zvezna območja. Pomembna pri tem je pridobitev geomorfološko čim bolj pravilne ploskve pri enotni ločljivosti in hkrati čim bolj točni interpolaciji.

5.4.2.1 Mozaičenje virov v osnovni sloj

Vse sloje sem najprej pretvoril v enotno celično mrežo (DMV) ločljivosti 20 m z enotnim koordinatnim izhodiščem (drugi korak razdelka 5.3.1.4 in razdelek 4.4.5). Najpomembnejše tri poenotene sloje virov sem najprej po določeni prioriteti z mozaičenjem sestavil v *osnovni sloj* (drugi korak razdelka 5.3.1.4). Prioriteta je pomembna pri izbiri celotnega lokalnega sloja po načelu uporabe najboljših virov v celoti (razdelek 3.3). Prehode med posameznimi viri sem spajal z uporabo Hermitovih kubičnih poligonov (razdelek 4.4.7). Pas prekrivanja slojev širine 100 m se je glede na poskuse izkazal kot zadovoljiv. Med postopkom so se metapodatki o deležih virov vpisovali v posamezne sloje $\underline{\mathrm{RA}}_i$.

5.4.2.2 »Vzporedno« utežno prekrivanje virov

Naslednji korak obdelave je bil upoštevanje drugih, *sekundarnih slojev* (navedeni so v začetku razdelka 5.3.1.4). Združeval sem jih z enostavnim seštevanjem po načelih operacij algebre karte. Zvezni osnovni sloj $\underline{\mathrm{RV}}_o$ in sekundarni sloji $\underline{\mathrm{RV}}_i$ (dodatek B.2.2.1) so dali parametre za določitev uteži vplivnosti posameznih slojev (četrti korak razdelka 5.3.1.4). Uteži u_o in u_i posameznih uporabljenih slojev imata vrednosti

$$u_o = \frac{1}{\sigma_o^2},\ u_i = \frac{1}{\sigma_i^2} \tag{5-3}$$

kjer sta standardna odklona enaka $\sigma_o = \underline{\mathrm{RV}}_o$ in $\sigma_i = \underline{\mathrm{RV}}_i$. Sloja $\underline{\mathrm{RV}}_o$, $\underline{\mathrm{RV}}_i$ sta morala biti pri utežnem seštevanju sekundarnih slojev reliefa v vseh točkah normirana in njun seštevek enak 1. Zaradi enostavne kontrole parametrov kakovosti sem po prioriteti, navedeni v začetku razdelka 5.3.1.4, posamezne sloje vzporedno prišteval k osnovnemu (in ne vseh hkrati). S tem sem lahko za vsak dodaten sekundarni sloj sukcesivno kontroliral njegov vpliv glede na predhodni sloj. Popravljeno nadmorsko višino H sem pri upoštevanju posameznih slojev uteži in danih višin H_o in H_i, izračunal po naslednji enačbi utežne aritmetične sredine (težiščnice)

$$H = \frac{u_o H_o + u_i H_i}{u_o + u_i} = \frac{\sigma_i^2}{\sigma_o^2 + \sigma_i^2} H_o + \frac{\sigma_o^2}{\sigma_o^2 + \sigma_i^2} H_i \tag{5-4}$$

Za vsakim naslednjim dodatnim sekundarnim slojem je dobival osnovni sloj popravek vrednosti uteži glede na vrednosti predhodnega osnovnega sloja in sekundarnega sloja. Popravljena vrednost o+1 je bila izračunana kot najmanjša vrednost standardnih odklonov predhodnega osnovnega sloja o in novega sekundarnega i

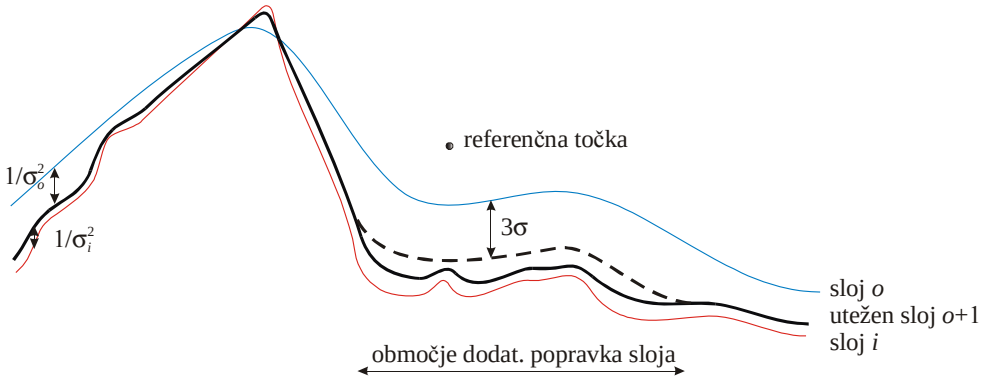
$$\sigma_{o+1} = \min(\sigma_o,\ \sigma_i) \tag{5-5}$$

V primeru izpolnitve pogoja, da je

$$\mathrm{abs}(H_o - H_i) \le 3\sigma \tag{5-6}$$

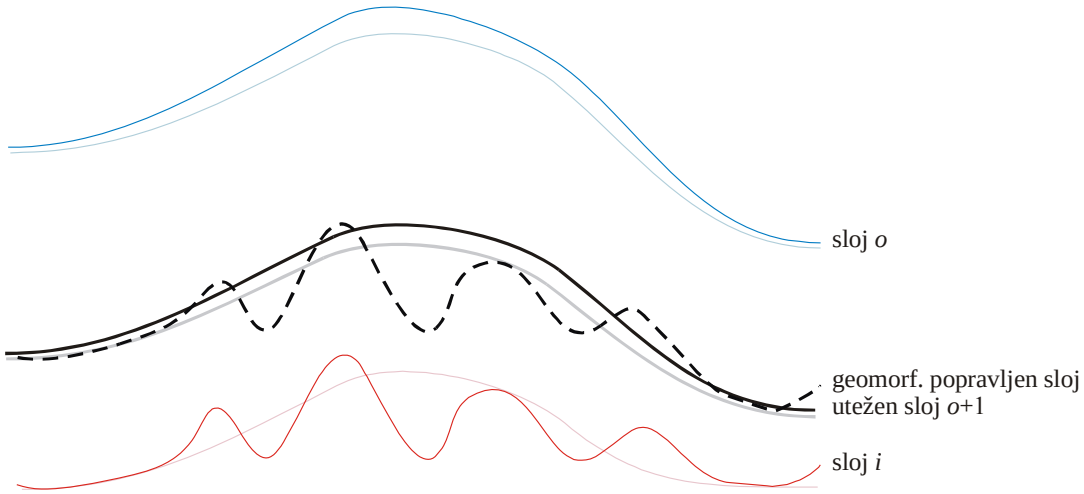
se je vrednost H sloja izdelanega DMR izračunala po enačbi 5-4. V primerih neizpolnitve pogoja enačbe 5-6 sem taka zaključena območja posebej označil in jih primerjal z vrednostmi referenčnih točk, če so seveda obstajale. Sledili sta dve varianti. Če tako do-

bljeno območje ni vsebovalo vsaj ene referenčne točke, je bilo označeno kot območje *nezadostne kakovosti* – $\underline{RP}_1$ (dodatek B.2.1.5). Po drugi varianti, ko je bila posameznim območjem pripisana vsaj ena referenčna točka, sta bili izračunani razliki višin točk slojev *o* in *i*. Popravljen sloj se je »orientiral« na tistega izmed prvotnih slojev, od katerega je vrednost referenčne točke manj odstopala. Če je višinska razlika popravljenega sloja DMR presegala vrednost iz enačbe 5-6, potem je potekal na oddaljenosti 3σ od sloja, bližjemu referenčni točki (slika 55). Pri tem sem zanemaril standardne odklone referenčnih točk.



Slika 55: Utežno seštevanje virov v utežen sloj DMR.

Na opisan način se torej območja grobih napak samodejno označijo (in ne izločijo) kot območja nezadostne kakovosti $\underline{RP}_1$, v primeru arbitraže z referenčnimi točkami pa se ploskev reliefa samodejno približa na vsaj trikratno razdaljo ploskve $\underline{RV}_i$, ki ponazarja standardne odklone posameznega vira.



Slika 56: Geomorfološko popravljanje uteženega sloja DMR.

5.4.2.3 Geomorfološki popravki

Kot rezultat opisane metode utežnega seštevanja slojev dobimo v vsakem primeru nekoliko bolj zglajen DMR od najmanj zglajenega sloja. Zato sem želel rekonstruirati geomorfološke značilnosti glede na tisti sloj (v našem primeru *i*; slika 56), od katerega je predhodno popravljen sloj DMR (*o*+1) najmanj odstopal. Za odločitev, kateri sloj upo-

rabiti za geomorfološke popravke, sem upošteval regionalizacije $\underline{RV}_i$. Pri tem sem pod enakimi pogoji za oba prvotna *o* in *i* ter predhodno popravljen sloj *o*+1 izračunal *ploskev trenda*. Praktično sem za vse tri sloje uporabil enak nizkopropustni filter (krožnega, z radijem treh mrežnih celic). Ploskvi trenda (siva črta) za predhodno popravljen – utežen sloj *o*+1 sem nato prištel razliko vrednosti sloja in pripadajočega trenda, katerega morfologijo sem upošteval. V našem primeru gre razliko sloja *i* (rdeča črta) in trenda (svetlo rdeča črta) ter pripadajoč geomorfološko popravljen utežen DMR (črna črtkana črta). Tako sem glede na predhodne rezultate utežnega seštevanja dobil geomorfološko pravilnejši in hkrati statistično ne bistveno slabši DMR.

5.4.2.4 Upoštevanje točk

Podobno opisanemu načinu utežnega seštevanja virov sem želel dodatno upoštevati tudi vrednosti (referenčnih) točk. Na tak način lahko dobimo predvsem statistično boljši DMR, geomorfološko pa se ne sme bistveno spremeniti. Najprej sem napravil manjši test in točke enostavno rastriral ter jih dodal predhodno izdelanemu sloju DMR. Pri tem sem z odštevanjem tako dobljenega in predhodnega sloja ugotovil, da se bistveno ne razlikujejo. Temu so največ prispevala načela metode utežnega seštevanja virov, po katerih se ploskev reliefa samodejno približuje referenčnim točkam.

Za čim boljše ohranjanje geomorfoloških značilnosti in s tem zahtevanega neopaznega zveznega prehoda upoštevanih točk na okoliški DMR sem upošteval tudi okolico posameznih točk. Pri tem sem uporabil regionalizacijo razgibanosti RR ter določil vplivna območja polmera 100 m za ravnine, 50 m za gričevja, 25 m za hribovja in 20 m za gorovja. Kot rezultat sem dobil v nekaterih primerih na tak način celo geomorfološko boljši DMR, npr. na območju rečne mreže na testnem območju Novega mesta /7/. V večini primerov pa se je DMR geomorfološko nekoliko pokvaril. Največje pomanjkljivosti so se pokazale prav na ravninah, kjer so nastale majhne, a zelo opazne lažne vzpetine in vdolbine. Podobne napake vidimo tudi na obstoječem DMR 10 mesta Ljubljane, pri katerem se vidi, da so bile točke navezovalne mreže ponekod (Ljubljansko barje) preveč upoštevane.

Glede na omenjene pomanjkljivosti metode upoštevanja točk je preostala smiselna uporaba popravkov nadmorskih višin točk le na najbolj razgibanih območjih, značilnih območjih vrhov in vrtač ter v okolici vodotokov. Vodotoke sem dodal zato, ker sem kasneje izvajal hidrološke analize, pri katerih pomagajo k boljši določitvi vodotokov bolje definirane nadmorske višine. Praktično sem izvajal dejansko izboljšavo DMR za naslednje referenčne točke:

- točke v gorah glede na regionalizacijo RR,
- točke na območjih vrhov in vrtač glede na regionalizacijo RO,
- trigonometrične točke I. reda ne glede na regionalizacijo RO,
- točke v okolici vodotokov glede na spremenljivko *H*,

Za vse tako določene točke sem upošteval geomorfološke popravke v polmeru 20 m. Pri razliki višin, manjši od 1 m, sem posameznim mrežnim celicam na območjih točk enostavno pripisal vrednost nadmorskih višin izbranih točk. V primerih, da je bilo odstopanje večje od 1 m, sem zaradi boljših geomorfoloških lastnosti upošteval toleranco 0,5 m po višini. Z vizualno kontrolo sem ugotovil, da je bil tako izdelan DMR geomorfološko pokvarjen le na območju nekaterih vodotokov, sicer pa ni bilo videti napak.

5.4.2.5 Spremljanje kakovosti utežnega seštevanja slojev

Vsak korak dodajanja sekundarnih slojev je bil statistično spremljan (preglednica 12). Testiranje je bilo izvedeno na poenostavljen način, in sicer z vsemi referenčnimi točkami hkrati na vseh desetih testnih območjih. Vrednosti dobljenih parametrov s tem sicer niso dovolj verodostojne za predstavitev kakovosti slojev po vsej površini testnih območij. V tem primeru namreč referenčne točke prevladujejo v nižinah, poleg tega pa je delež ravnin precej večji od deleža gora (primerjaj frekvenco glede na razgibanost v preglednicah 7 in 9). Za izhodišče navajam vrednost točnosti *m*, ki je glede na vse razpoložljive točke v Sloveniji (brez grobih napak, glede na refDMV) 3,2 m (dejanska je sicer 4,7 m), medtem ko znaša za deset testnih območij le 2,0 m. Iz podanih razmerij se da približno oceniti dejansko kakovost rezultatov. Vendar so v našem primeru pomembnejši parametri pri spremljanju razlike vrednosti glede na posamezen dodan vir kot pa absolutne vrednosti.

Rezultati iz preglednice 12 jasno kažejo tudi na to, koliko je bila metoda utežnega seštevanja slojev boljša od poenostavljene metode izdelave referenčnega DMV (refDMV). Pri tem sem dosegel precej boljšo kakovost že samo s primerno kombinacijo slojev GKB-reliefa, DMR 25 in DMR 100. Opozoriti velja, da rezultatov kakovosti pri izboljšavah z dodanimi referenčnimi točkami nima smisla upoštevati, saj so bili dobljeni s taistimi referenčnimi točkami.

DMR (delež [%])	Sr. kvadr. odklon *m* [m]	Sr. odklon *M* [m]	STD σ [m]	Povpr. nadm. višina [m]
refDMV (za primerjavo)	*2,00*	0,02	92,34	232,36
(1–3) osnovni sloj: GKB-relief, DMR 25, DMR 100	*2,36* (3,28; [0,53, 20,38])	–0,20	92,46	232,59
(4) dodan DMR 100	*2,17* (3,22; [0,53, 20,38])	–0,05	92,38	232,43
(5) dodan DMR 25	*1,85* (3,18 [0,53, 20,38])	0,21	92,46	232,17
(6) dodan TTN 5	*1,85* (3,16 [0,53, 20,38])	0,21	92,46	232,17
(7) dodan DMR 10	*1,82* (3,15 [0,38, 20,38])	0,20	92,43	232,19
(8) dodan DMR 10 mesta Ljubljane	*1,72* (3,03 [0,38, 20,38])	0,18	92,45	232,21
dodane referenčne točke	*1,64*	0,20	92,50	232,19
izboljšanje s hidrološkimi analiz.	*1,68*	0,23	92,50	232,15

Preglednica 12: Primerjava statističnih parametrov kakovosti pri izboljševanju DMR s sekundarnimi sloji na 10 testnih območjih Slovenije. V oklepajih drugega stolpca so glede na regionalizacije $\underline{RV}_i$ navedeni priča-kovani povprečni, minimalni in maksimalni odkloni.

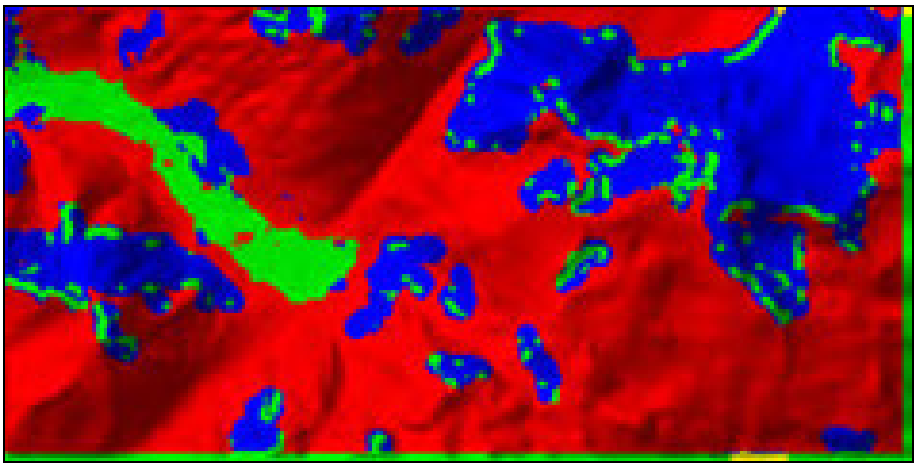
Zanimivo je, da se z uporabo dodatnega TTN 5, kakovost izdelanega DMR statistično ni bistveno izboljšala. Predvidevam da zato, ker je območje uporabe TTN 5 glede na celotno testno območje zelo majhno (4 %), poleg tega pa je tam izjemno malo referenčnih točk glede na število vseh točk (preglednica 13). Standardni odklon σ kot kazalec razgibanosti površja kaže na to, da se je razgibanost pri upoštevanju vsakega nadaljnjega

sekundarnega sloja ohranjala ter da je precej višja od vrednosti relativno zglajenega referenčnega DMV.

Vir (DMV)	Delež celotne uporabljene površine vira [%]	Delež uporabe vira pri obdelavi RA_i [%]	Delež prevlade vira RA [%]
(1) GKB-relief (osnovni)	97	57	44
(2) DMR 25 (osnovni)	1	1	0,3
(3) DMR 100 (osnovni)	2	2	2
(4) DMR 100 (dodan)	43	12	8
(5) DMR 25 (dodan)	47	19	34
(6) TTN 5 (dodan)	4	1	1
(7) DMR 10 (dodan)	1	1	1
(8) DMR 10 Ljubljane (dodan)	10	7	10

Preglednica 13: Delež posameznih virov, izračunanih glede na površino 10 testnih območij.

Zanimivo je tudi vedeti, kolikšni deleži posameznih slojev so bili uporabljeni pri izdelavi DMR Slovenije glede na deset testnih območij. Drugi stolpec preglednice 13 prikazuje deleže uporabe slojev (glede na predhodno modeliran sloj reliefa) po posameznih fazah dodajanja sekundarnih slojev. Pri tem so posamezni navedeni deleži trenutni, torej po vsakem dodanem sloju. V tretjem stolpcu je prikazan končni delež uporabe posameznega sloja RA_i glede na vse upoštevane vire ter v četrtem še delež površine, na kateri je posamezen vir po obdelavi prevladoval (RA). Po uporabi sloja referenčnih točk in po geomorfoloških popravkih nisem računal omenjenih deležev, ker so težko izračunljivi in hkrati zelo majhni.



Slika 57: Prevladujoči viri RA za testno območje Triglava /4/ (6000 krat 3000 m): GKB-relief (rdeče), DMR 25 (zeleno), TTN 5 (modro), DMR 100 (rumeno). Za ozadje so sence izdelanega DMR.

Slika 57 prikazuje območja, na katerih je posamezen sloj RA prevladoval pri obdelavi. Sloj je zanimiv za enostavno predstavitev deleža uporabe posameznega vira pri izdelavi DMR potencialnim uporabnikom, poleg tega pa služi tudi kot odlična vizualna kontrola upoštevanja posameznih slojev. S prikazom ozadja s sencami reliefa lahko hitro vidimo,

če so stiki med posameznimi območji prevlade pravilni, saj so geomorfološki popravki upoštevani prav glede na boljši vir.

5.4.3 Možnosti izboljšav obeh obravnavanih metod

Pri opisih obravnavanih metod obdelave DMR je očitno, da poskušata doseči optimum med statistično in geomorfološko čim boljšim rezultatom. To mi je v veliki meri uspelo z globalno zasnovanimi pristopi za celotno obravnavano območje, ne glede na geomorfološke posebnosti ali naravo virov. Med procesom izdelave je bilo implicitno navedenih kar nekaj idej izboljšav. Pri tem nisem preizkusil vseh variant, ki bi morda lahko prispevale k boljšim modelom, zato jih nekaj izmed njih navajam:

- pri določanju uteži posameznim zveznim slojem virov bi bilo treba v nekaterih primerih nekoliko bolj upoštevati geomorfološke in manj statistične parametre; s povečanjem uteži sloju skeleta reliefa, izdelanega iz GKB-reliefa, bi se bolje ohranile geomorfološke značilnosti;
- predhodno bi bilo treba vsak vir, ki je bil vključen, tudi ročno izločiti ali popraviti čim več opaženih grobih napak; s tem bi končni DMR pridobil predvsem na geomorfološki kakovosti;
- za boljšo izdelavo DMR bi moral v primeru CBPS upoštevati položaje fundusov, kot točk, v katerih so bile odčitane nadmorske višine, in ne centroidov stavb, kot v našem primeru;
- na koncu bi bilo smiselno upoštevati obode posameznih stavb iz CBPS ter njihovo notranjost interpolirati neodvisno od predhodnega DMV (glej tudi razdelek 4.5.1.2);
- za izboljšave DMR s hidrološkimi analizami bi bilo smiselno upoštevati v enem koraku čim večja območja, zaključena vsaj med pomembnejšimi razvodnicami;
- za podatke GKB-reliefa, interpoliranimi po metodi LIDIC, bi bilo pri postopku obdelave bolje, če ne bi bili predhodno glajeni; s tem bi dobili bolj »surove« podatke za obdelavo DMR;
- če bi želeli imeti predvsem geomorfološko in manj statistično pravilen DMR, bi bilo treba implementirati predvsem geomorfološke lastnosti DMV, izdelanega iz plastnic GKB-reliefa;
- glede na ločljivost večine uporabljenih virov, bi dobili za DMR ločljivosti 10 m geomorfološko boljše rezultate, kot sem jih dejansko; dobili bi tudi boljše samodejno ustvarjene plastnice; tovrstno izboljšavo bi se dalo učinkovito izvesti tudi naknadno s programom SCOP, pri čemer bi strukturi utežnega sloja DMV naknadno dodali tudi značilne črte in točke;
- izvajani sta bili dve iteraciji izdelave DMR; v tretji bi dobili boljše rezultate, saj bi imeli na razpolago boljši referenčni DMV, ki bi bil prevzet glede na predhodno izdelan DMR;
- zanimiva bi bila primerjava senc optičnih satelitskih posnetkov in odgovarjajočih samodejno ustvarjenih senc na izdelanem DMR; na ta način bi se dalo izboljšati nadmorske višine grebenov; glede na osenčenje reliefa bi se dalo tudi samodejno identificirati točne poteke grebenov; omenjena metoda bi bila zanimiva predvsem za območje Alp;

- boljši DMR bi dobili tudi, če bi bile hidrološke analize izvajane že v začetni fazi predobdelave; s tem bi imeli za nadaljnjo predobdelavo bolje pripravljene vire;
- pri predobdelavi bi lahko dobili še nekoliko boljši sloj regionalizacij $\underline{RV_i}$, če bi vanjo vključil tudi spremenljivke, uporabljene pri regionalizaciji $\underline{RU}$;
- metodo utežnega seštevanja virov je možno po izdelanem DMV 20 nadgraditi z elementi metode hkratne interpolacije virov pri nadgradnji v pravi DMR in s tem dodatno geomorfološko izboljšati model.

5.5 UPRAVLJANJE S PODATKI O RELIEFU

Za izdelka, DMR in DMV 20 Slovenije, izdelana iz podatkov različne kakovosti, bi bilo škoda, če ju ne bi nadgrajevali ali vsaj obnavljali. Za izdelavo DMR, ki je bila precej zapletena, želim pokazati tudi, da so nekatere metode, uporabljene pri predobdelavi in obdelavi, z manjšimi popravki uporabne tudi v konceptu upravljanja s podatki o reliefu. V naslednjih podrazdelkih so analizirani naslednji koraki, ki so nujni za nadaljnje življenje izdelkov, in sicer:

- dejanska ocena kakovosti DMR,
- vzdrževanje virov in izdelkov DMR/DMV,
- vzdrževanje geodetskih zbirk podatkov,
- organizacija zbirke digitalnih podatkov reliefa (ZDPR).

5.5.1 Dejanska ocena kakovosti DMR

Dejanska ocena kakovosti izdelka DMR Slovenije oz. DMV 20 je potekala na analogen način, kot je opisano za vire, natančneje, zvezne sloje (razdelka 4.5.3 in 5.3.1). V nadaljevanju sta opisani izvedbi temeljite vizualne in statistične kontrole predvsem za rezultate izdelave po metodi utežnega seštevanja. Za kontrolo sem izmed mnogih izbral predvsem tiste metode (razdelek 4.5.3), ki so dale zanimive in uporabne rezultate.

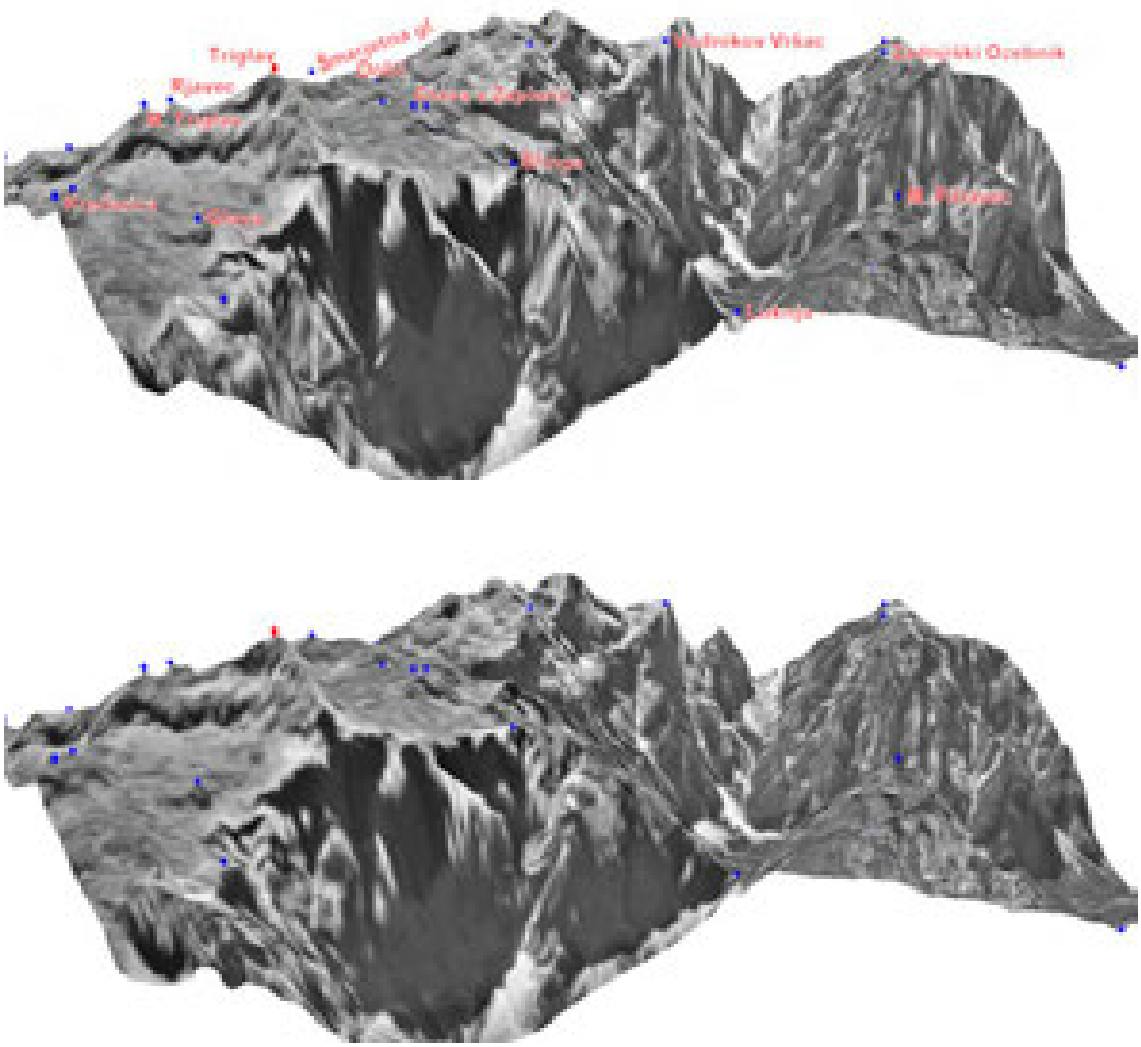
5.5.1.1 Statistične analize dejanske ocene kakovosti

Osnovni parametri statističnih analiz izdelave DMR po metodi utežnega seštevanja so navedeni v razdelku 5.4.2.5. Za metodo hkratne interpolacije ni na razpolago neposredno primerljivih statističnih analiz. Glede na delne rezultate po posameznih območjih predvidevam, da bi bil rezultat precej podoben.

5.5.1.2 Vizualne analize dejanske ocene kakovosti DMR

V nadaljevanju sledi uporaba niza metod vizualnih analiz dejanske ocene kakovosti novega DMR Slovenije. Na sliki 58 je primerjava perspektivnih prikazov starega DMR 100 (zgoraj) in izdelka DMV 20 (spodaj) za testno območje Triglava /4/. Prek modelov reliefa je napet digitalni ortofoto (DOF 5) ter oznake kót z bazo na pravih nadmorskih višinah (glede na podatke z DTK 25), prikazanimi kot 30 m visoke modre paličice. Le trigonometrična točka na Triglavu je prikazana kot rdeča paličica. Na zgornji sliki so za boljšo orientacijo dodani toponimi. Nadvišanja nadmorskih višin pri vizuali-

zaciji ni. Prikaz modelov daje vtis dejanske črno-bele fotografije, kar da dobro predstavo o pokrajini. Vidi se, da se tekstura DOF 5 neprimerno bolje ujema z geomorfološkimi lastnostmi DMV 20 kot z DMR 100, poleg tega pa je na vizualizaciji DMR 100 opaziti tudi nekatera izrazita neujemanja kót in površja (npr. kóta na Šmarjetni glavi).

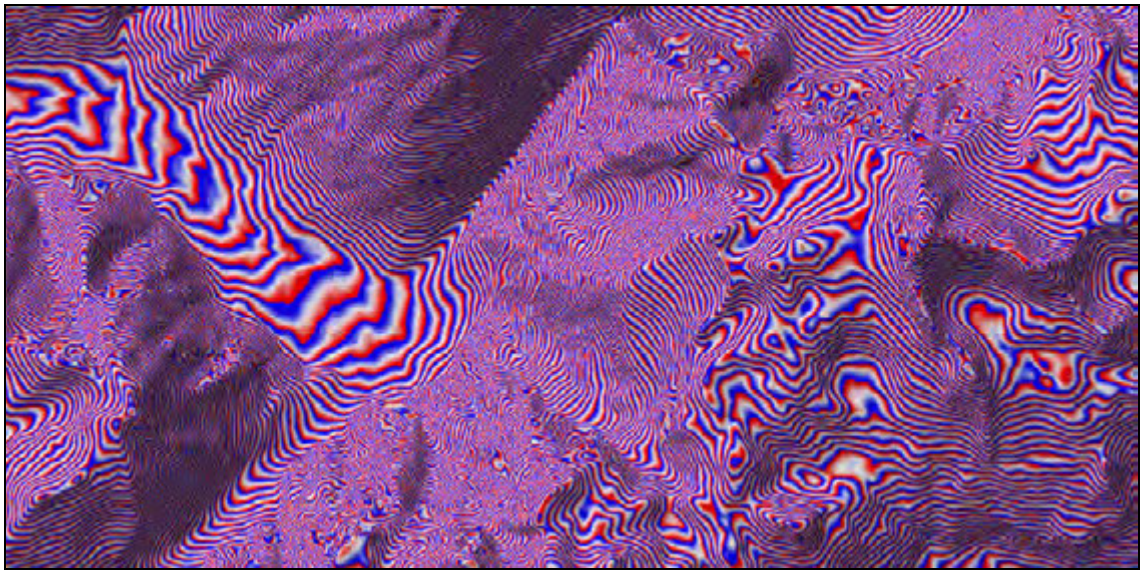


Slika 58: Perspektivni prikaz DMR 100 s toponimi (zgoraj) in DMV 20 (spodaj) za testno območje Triglava /4/ (6000 krat 3000 m). Pogled je s severovzhoda, na model je napet DOF 5 in prikazane kóte (modro in za Triglav – rdeče).

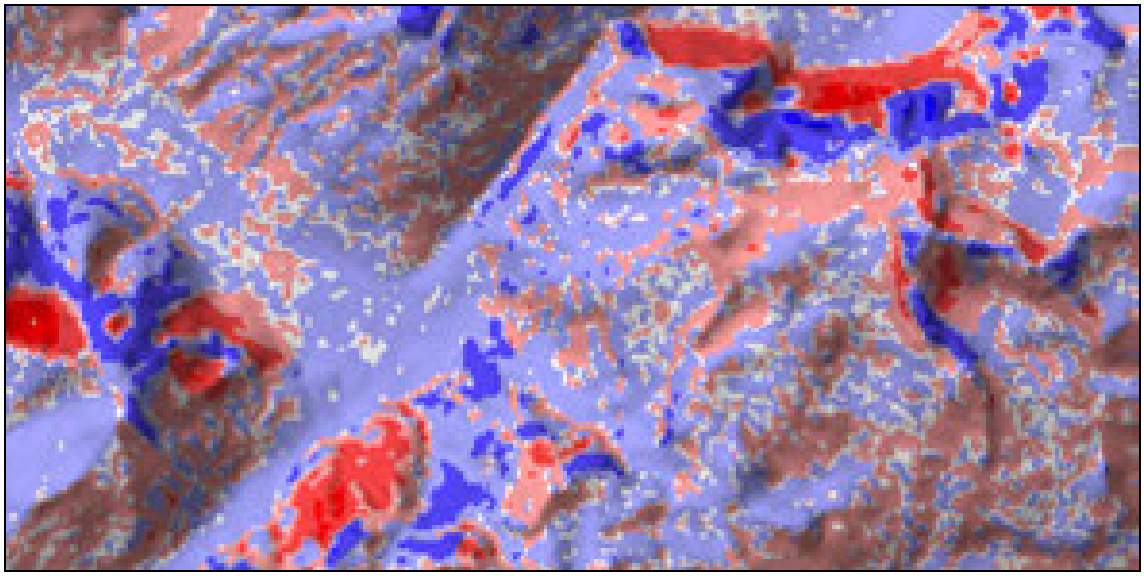
Na sliki 59 je prikazan DMV 20 s tehniko bipolarnega diferenciranja, kombiniranega s senčenjem za testno območje Triglava /4/. Posamezen interval (ekvidistanca) diskromatske barvne lestvice znaša 20 m. Vizualna predstavitev kaže na geomorfološko zelo soliden model reliefa.

Na sliki 60 je vizualizacija (z diskromatsko barvno lestvico) razlike slojev – odštevanja referenčnega DMV (refDMV) od izdelka DMV 20 za testno območje Triglava /4/. Sive lise prikazujejo minimalno odstopanje ±1 m, svetlo rdeče in modre odstopanje do ±20 m, še temnejše do ±100 m ter najtemnejše lise odstopanje večje od ±100 m, z največjo vrednostjo modre –128 m in rdeče 292 m. Vidi se, da je več modre barve na gre-

benih, kar pomeni da je refDMV bolj gladek od končnega izdelka. Izstopajo nekatere izrazite grobe napake refDMV, ki sem jih med izdelavo DMV 20 odpravil s tehniko utežnega seštevanja slojev.



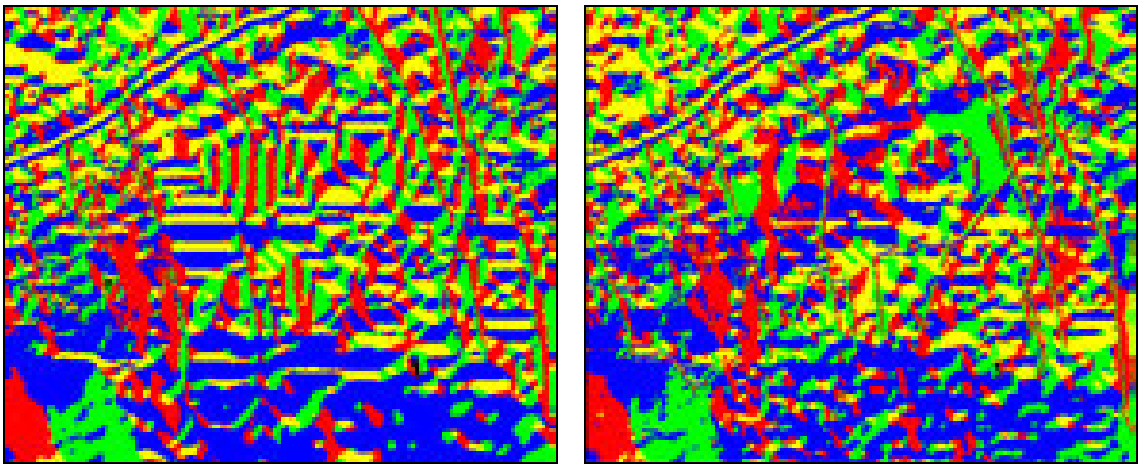
Slika 59: DMV 20, prikazan s tehniko bipolarnega diferenciranja, kombiniran s senčenjem, za testno območje Triglava /4/ (6000 krat 3000 m). Posamezen interval (ekvidistanca) znaša 20 m.



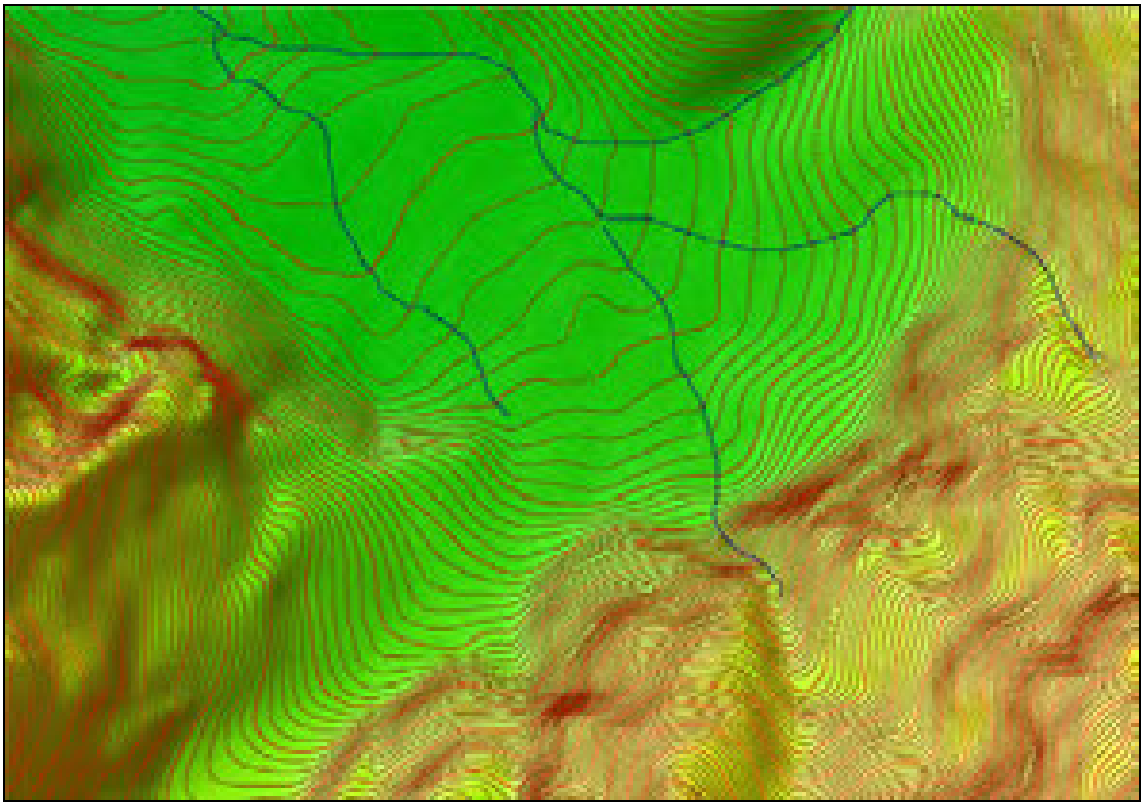
Slika 60: Vizualizacija razlik višin med DMV 20 in refDMV, kjer je drugi odštet od prvega za testno območje Triglava /4/ (6000 krat 3000 m). Razlike so prikazane z diskromatsko barvno lestvico, in sicer pozitivne v rdečem in negativne v modrem.

slika 61 prikazuje primerjavo štirih ekspozicij površja za ravninski predel Ljubljanskega barja kot del testnega območja Krima /8/. Na levi je refDMV ter na desni izdelek DMV 20. Za oba DMV so bili na obravnavanem območju uporabljeni isti viri. Na refDMV je opaziti precej izrazit geomorfološko nepravilen vzorec črt z medsebojno razdaljo 100 m. Nastale so pri interpolaciji prevladujočega DMR 100 v precej gostejšo celično mrežo 20 m s programom Topogrid (glej tudi razdelek 4.4.2.2). Podobne rezultate

lahko dobimo tudi pri uporabi programa SCOP. Metoda interpolacije z zlepki se je pri zgoščevanju celične mreže izkazala kot najugodnejša, kar je opaziti na DMV 20.



Slika 61: Primerjava ekspozicij površja za refDMV (levo) in DMV 20 (desno) na izrazito ravnem Ljubljanskem barju kot delu testnega območja Krima /8/ (6000 krat 5000). Ekspozicije so v smereh sever (modra), jug (rumena), vzhod (zelena) in zahod (rdeča).

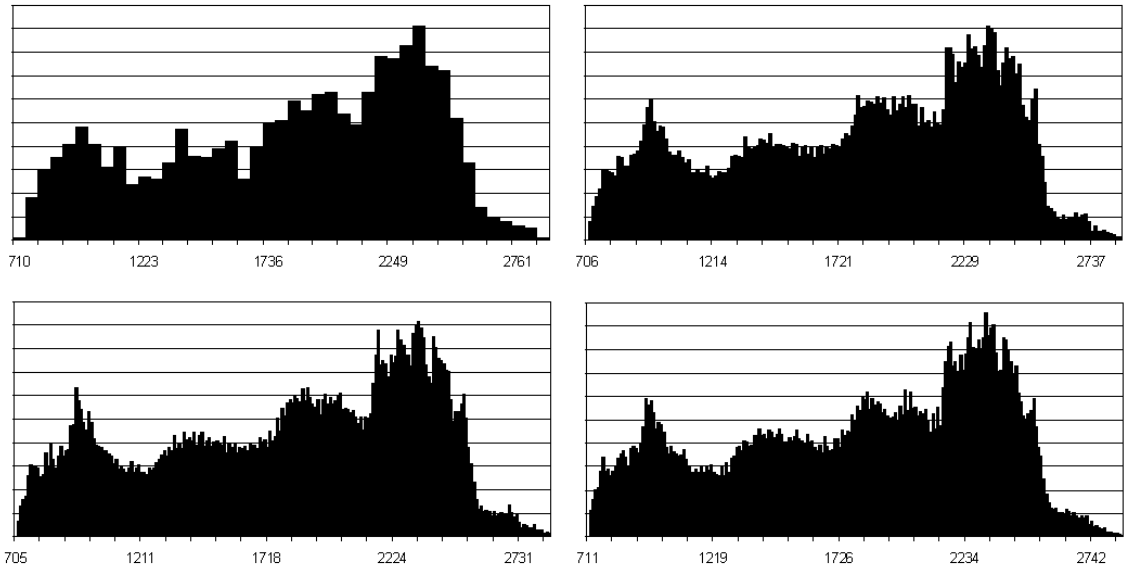


Slika 62: Samodejno ustvarjene plastnice kartografske kakovosti in rečna mreža iz DMV 20 za del testnega območja Triglava /4/. Za ozadje je prikaz površja s hipsometrično barvno lestvico in sencami.

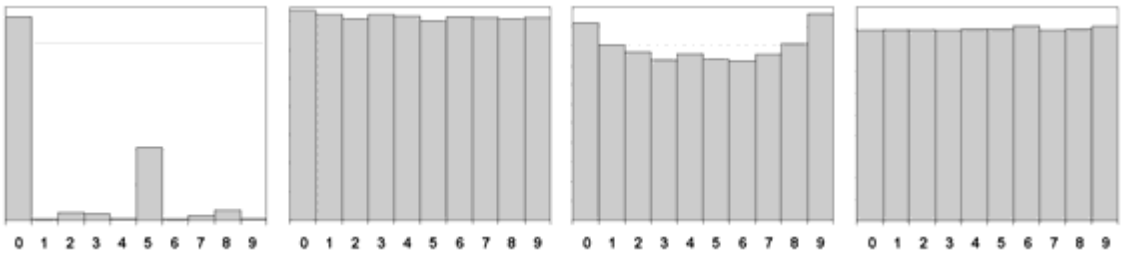
Slika 62 prikazuje samodejno ustvarjene plastnice kartografske kakovosti v programu SCOP na podlagi celične mreže sloja DMV 20, zgoščene na ločljivost 7,5 m, za manjši del testnega območja Triglava /4/. DMV 20 je bil v tem primeru nadgrajen v DMR, pri

čemer je bila samodejno ustvarjena rečna mreža. Primer prikazuje visoke kartografske zmožnosti uporabe izdelka DMR oz. DMV 20 ter hkrati dodaten vtis o njegovi kakovosti.

Slika 63 prikazuje primerjavo histogramov za DMR 100, InSAR DMV 25, refDMV in izdelka DMV 20, narejenih pod primerljivimi pogoji, za testno območje Triglava /4/. Vidi se, da je predvsem zaradi premajhne ločljivosti in s tem premajhnega števila podatkov najbolj zvezen histogram za DMR 100. Med primerljivima slojema iste ločljivosti je histogram DMV 20 bolj gladek od refDMV. Iz tega sklepam, da je DMV 20 manj stopničast, kar bi moralo biti bolje. Na podlagi histogramov se ne da tudi ugotoviti, če ni morda obravnavan model preveč nenaravno zglajen.



Slika 63: Histogrami za DMR 100 (levo zgoraj), InSAR DMV 25 (desno zgoraj), refDMV (levo spodaj) in izdelek DMV 20 (desno spodaj) za testno območje Triglava /4/ (6000 krat 3000 m).

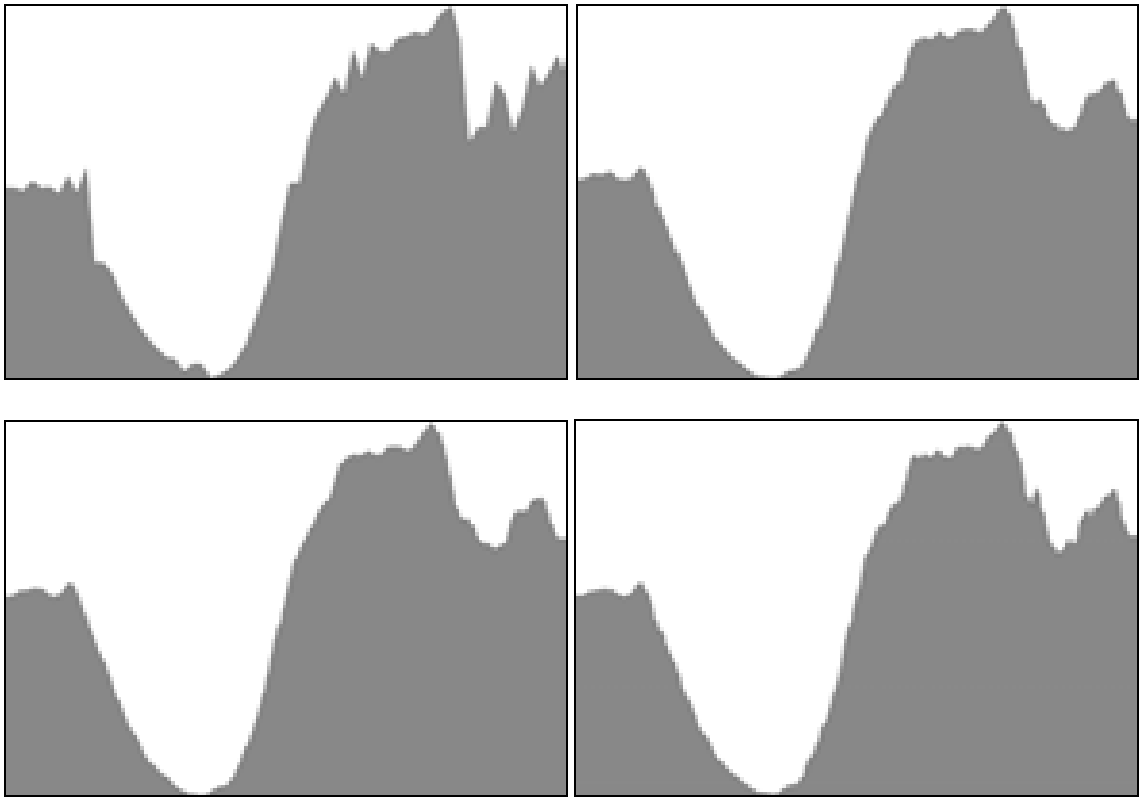


Slika 64: Relativni histogrami za DMR 100, InSAR DMV 25, refDMV in izdelek DMV 20 (od leve proti desni) za testno območje Triglava /4/ (6000 krat 3000 m).

Slika 64 ponazarja relativne histograme za (od leve proti desni) DMR 100, InSAR DMV 25, refDMV in izdelek DMV 20, narejene pod enakimi pogoji za testno območje Triglava /4/. Relativni histogram dobimo z izračunom relativnih iz nadmorskih višin (Carrara et al. 1997) na podoben način kot za prikaz z bipolarnim diferenciranjem. Osnovni interval sem določil glede na ekvidistanco plastnic GKB-reliefa (10 m) in jih klasificiral na deset enakih delov po 1 m višine. Pri tem sem želel analizirati, ali so se morda vrednosti v primeru slabe interpolacije slojev, modeliranih na podlagi plastnic, zbira-

le okoli posameznih plastnic. Najslabši rezultat sem pričakoval za refDMV, pri katerem so pri izdelavi najbolj prevladovale plastnice, poleg tega pa metoda interpolacije ni bila izjemno dobra (Topogrid). Izkazalo pa se je, da je DMR 100, pri katerem so se zbirale vrednosti okoli plastnic z ekvidistanco 10 m ter okoli vmesnih vrednosti (5 m), neprimerno slabši (glej sliko 64). Sklepam, da je do tega prišlo zaradi približnega zaokroževanja vrednosti pri ročni interpolaciji (delo študentov). Po pričakovanju so se vrednosti zbirale okoli celih vrednosti plastnic pri refDMV (glej tudi sliko 61), medtem ko je DMV 20, izdelan po metodi utežnega seštevanja, celo bolj uravnovešen od pričakovanja. Po pričakovanju je uravnotežen tudi histogram za InSAR DMV 25.

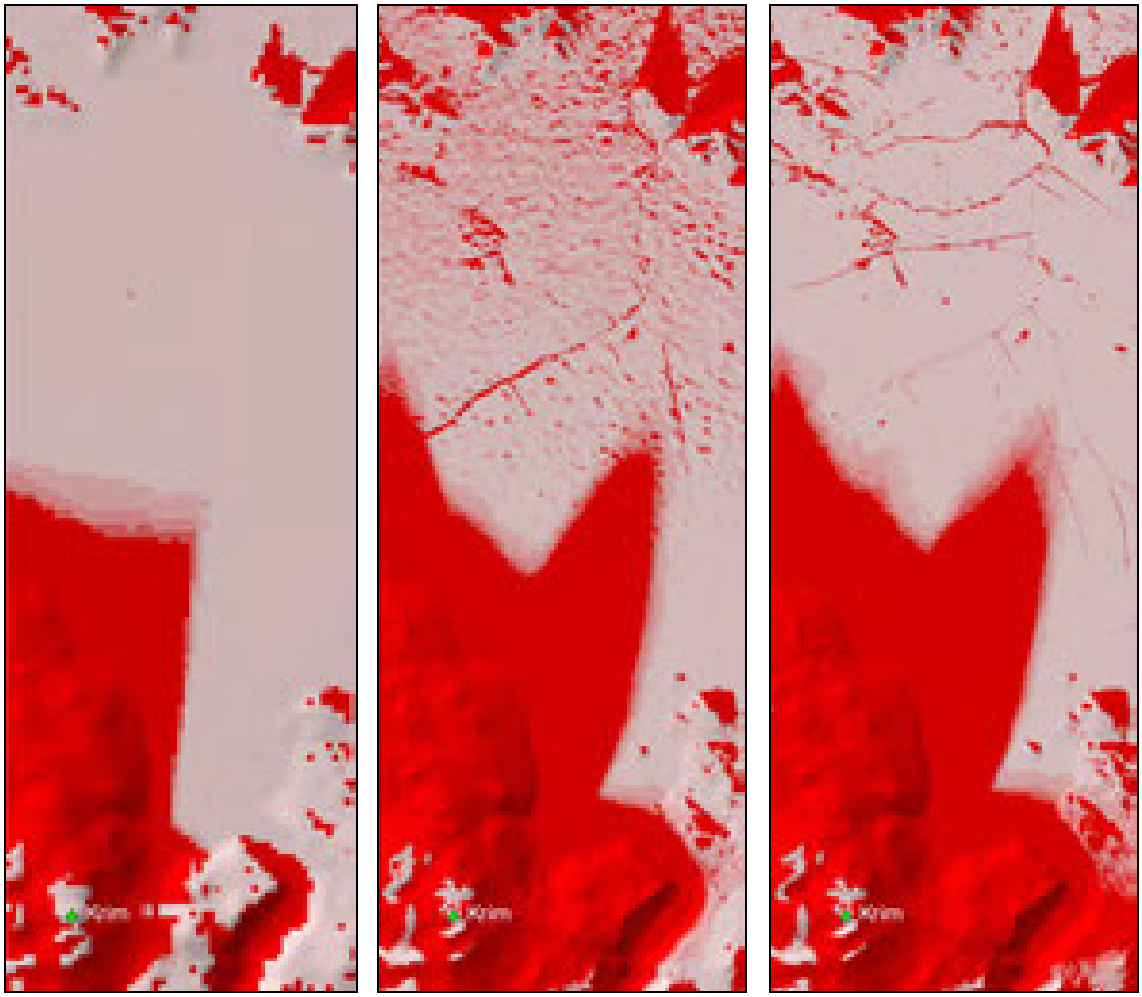
Slika 65 prikazuje primerjavo profilov reliefa za DMR 100, InSAR DMV 25, refDMV in izdelek DMV 20, narejenih pod enakimi pogoji za testno območje Triglava /4/. Profili so bili izdelani po celotni diagonali testnega območja, od JZ do SZ (približno 5000 m dolžine). Nadvišanje je trikratno. Najnižja nadmorska višina profilov je okoli 1035 m, najvišja pa 2475 m. Profil DMR 100 je zaradi majhne ločljivosti in nezglajenosti precej robat, saj so bili podatki zapisani pretežno s točnimi središčnimi vrednostmi v mrežo točk. Precej bolj podroben in hkrati zelo gladek je profil InSAR DMV 25 in podobno tudi za refDMV. Najbolj podroben in hkrati razgiban je profil izdelka DMV 20. Glede na opisano lahko povzamem, da sta glede na ločljivost v vseh pogledih geomorfološko neprimernejša DMR 100 (!) in DMV 20. Druga dva sloja sta nekoliko preveč zglajena.



Slika 65: Profili reliefa (približno 5000 m dolžine) za DMR 100 (levo zgoraj), InSAR DMV 25 (desno zgoraj), refDMV (levo spodaj) in za izdelek DMV 20 (desno spodaj) testnega območja Triglava /4/.

Slika 66 prikazuje Monte Carlo simulacije vidnosti za testno območje Krima /8/. Izračunane so za vidnost z oddajnika na Krimu (y = 459.265 m, x = 87.285 m, H = 1095 m) s povprečno višino anten 20 m nad tlemi. Podrobnosti s primeri o tehniki Monte Carlo

so opisane v literaturi: Podobnikar (1998a; 1998b; 1999c). Refrakcija in ukrivljenost površja nista bili upoštevani pri simulaciji. Izračunanih je bilo $n = 60$ ponovitev oz. simulacij vidnosti za ploskve DMR 100, InSAR DMV 25 in DMV 20 (od leve proti desni). V odvisnosti od ločljivosti DMV je bila upoštevana avtokoreliranost napak, implementirana z Moranovim koeficientom I z vrednostmi med 0,7 in 0,8. Posamezne naključne ploskve so upoštevale kakovost slojev, izraženo z zveznimi ploskvami naključnih napak $\underline{RV}_i$. Območja, prikazana z izraziteje rdečo barvo, pomenijo manjšo potencialno vidnost. Pri simulaciji vidnosti glede na sloj DMR 100 je opazna majhna ločljivost in splošna slaba kakovost. Pri InSAR DMV 25 je opazen predvsem lažni »naključni« vzorec na območju Ljubljanskega barja. Simulacija vidnosti na DMV 20 pa kaže največ podrobnosti in hkrati relativno ostro senco. Najkrajšo senco Krima je opaziti za najslabši DMR 100 in najdaljšo za najboljši DMV 20.



Slika 66: Monte Carlo simulacije vidnosti z oddajnika na Krimu za testno območje Krima /8/ (6000 krat 16.000 m) za DMR 100, InSAR DMV 25 in izdelek DMV 20 (od leve proti desni). Za ozadje so sence pripadajočih DMV.

5.5.2 Vzdrževanje virov in izdelkov DMR/DMV

Obstoječe vire za izdelavo DMR je treba neprestano *izboljševati* in *dopolnjevati* z novimi. Z njimi ter z boljšimi tehnikami modeliranja vzdržujemo tudi DMR Slovenije.

Vzdržujemo lahko periodično, npr. letno, ali po potrebi. Najpomembnejši pogoji, ki morajo biti izpolnjeni, oz. vzroki, da se lotimo vzdrževanja, so:

- med uporabo DMR so ugotovljene grobe napake,
- na razpolago so novejši in boljši viri za izdelavo DMR,
- sprememba zemeljskega površja zaradi naravnih ali antropogenih vzrokov,
- dostopne so novejše in boljše tehnike za izdelavo DMR.

5.5.2.1 Vključitev referenčnih točk

Če se pokaže možnost, potem zajemamo pri vsaki nadaljnji izboljšavi DMR vedno nove referenčne točke. Po končani kontroli izdelanega DMR jih lahko vključimo v model. S takim pristopom izvajamo temeljito kontrolo DMR, poleg tega pa ga neprestano izboljšujemo s kakovostnimi podatki.

5.5.2.2 Vključitev virov okolice Slovenije

V disertaciji sem se omejil na testna območja znotraj Slovenije. Za razne državne in druge potrebe bi bilo treba vključiti tudi vire z okolice Slovenije. Nekaj jih je trenutno že na razpolago (DMR 100 v delu Avstrije, pokrivanje sloja GKB-reliefa na manjšem območju zunaj Slovenije, globalni GTOPO30/GLOBE itd). Najbolje bi bilo manjkajoče kakovostne podatke pridobiti z izmenjavo s sosednjimi državami, jih primerno transformirati v državni koordinatni sistem in s primernimi metodami vključiti v obstoječi DMR. Če to ne bi bilo izvedljivo, bi bilo smiselno uporabiti čim bolj optimalno metodo za pridobivanje takih podatkov, npr. radarsko interferometrijo.

5.5.2.3 Vključevanje novih primernih virov

Že v bližnji prihodnosti bodo na razpolago novi lokalni DMV ali drugi viri, ki bi jih bilo smiselno vključiti v koncept izdelave DMR. Takim podatkom bo treba predhodno ovrednotiti kakovost, določiti parametre uteži, odstraniti morebitne sistematske in grobe napake, po možnosti reducirati/dodati podatke ter jih nato vključiti v model reliefa. Posebej bi bilo treba določiti tudi območja, kjer se je spremenila geomorfologija reliefa. Tak primer je upoštevanje virov na območju izgradnje avtocest. Pri tem je treba stare podatke o reliefu izločiti, in sicer ne zaradi morebitne premajhne kakovosti, temveč zaradi spremenjenega zemeljskega površja.

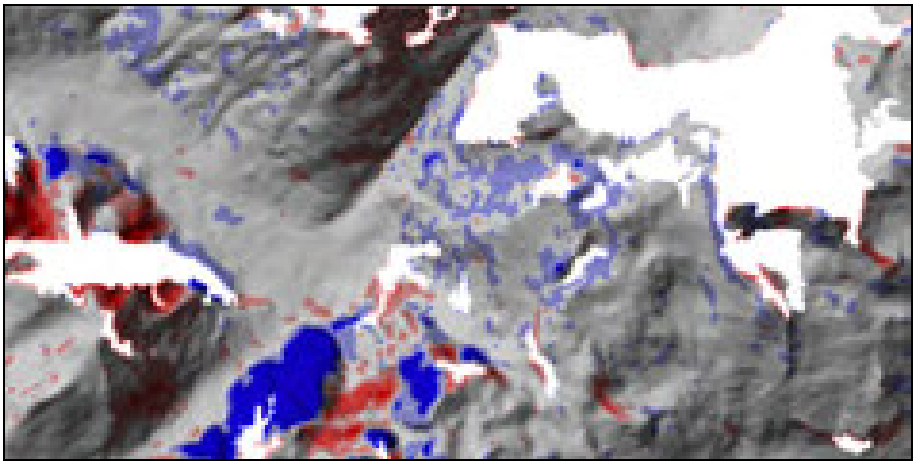
Zaradi možnosti postopnega vključevanja posameznih virov bi bilo vzdrževanje virov in DMR najbolj enostavno pri metodi utežnega seštevanja virov (razdelek 5.4.2). V tem primeru tudi ne bi bilo treba hraniti (ali pa vsaj ne vsakič znova uporabljati) vseh prvotnih virov v posebni zbirki digitalnih podatkov reliefa (ZDPR), ampak le zadnjo – predhodno verzijo DMR ter značilne točke, lomne črte, oblikovne črte in druge podatke za izboljšanje s hidrološkimi analizami. Popravljena območja bi bilo treba na primeren način mehko vključiti v prvotni DMR, torej z geomorfološko pravilno vklopljenimi robovi območij (razdelek 4.4.7).

Pri metodi hkratne interpolacije (razdelek 5.4.1) bi bil postopek vključevanja novih virov nekoliko bolj zapleten, saj bi bilo treba ves postopek kontrole kakovosti virov ter izločanja napak in interpolacije vseh virov vedno znova ponavljati. Le tako bi dobili res karseda korektno izdelan DMR. V razdelku 5.3.2.3 so obravnavane možnosti ročnega zajema podatkov, ki jih je tudi možno vključiti v model. Poleg njih bodo najverjetneje

kmalu na razpolago tudi laserski DMV, izdelan z laserskim skeniranjem (razdelek 2.2.2) za vsaj kako lokalno območje. Navsezadnje bi bilo dobro v ZDPR vključiti tudi globine morij in morda jezer kot batimetrični »DMR«.

5.5.2.4 Vzdrževanje glede na metapodatke o zahtevani, nezadostni in nedoločljivi kakovosti DMR

Območja *nezadostne kakovosti* (natančnosti) dobimo poenostavljeno s primerjanjem razlik nadmorskih višin posameznih virov med seboj. Slika 67 prikazuje odstopanja med slojema GKB-reliefa in TTN 5, prikazana z diskromatsko barvno letvico. Tak prikaz je zelo dobra indikacija za določitev območij nezadostne kakovosti. Pri podrobni primerjavi poteka plastnic sem ugotovil, da se na najizraziteje obarvanih mestih posamezna sloja tudi geomorfološko zelo razlikujeta.



Slika 67: Primerjava slojev GKB–reliefa in TTN 5 za testno območje Triglava /4/ (6000 krat 3000 m). Temno modra območja pomenijo, da je TTN 5 za 100 do 300 m nižji od sloja GKB–reliefa, temno rdeča pa da je za nekaj manjšo vrednost višji od njega.

Kombinacija slojev *zahtevane kakovosti* RZ (dodatek B.2.1.2), nezadostne kakovosti RP_1 (dodatek B.2.1.5) in *nedoločljive kakovosti* RP_2 (dodatek B.2.1.5) je pomembna za načrtovanje nadaljnjih izboljšav DMR. Območja zahtevane kakovosti imamo lahko za dodaten pogoj pri določanju območij nezadostne kakovosti. Za območja nezadostne kakovosti je treba dodatno zajeti vire, s katerimi izboljšamo DMR. Podobno velja tudi za območja nedoločljivosti, za katera je treba zajeti vsaj referenčne točke za testiranje.

5.5.3 Vzdrževanje geodetskih zbirk podatkov

Popravljene geodetske zbirke podatkov spadajo med »stranske« proizvode izdelave DMR. Izboljšujemo jih med postopki predobdelave, natančneje; med izvajanjem dejanskih analiz kakovosti virov in izločanjem grobih napak ter med geomorfološkimi izboljšanji virov. Pri vzdrževanju se posvetimo naslednjim zbirkam:

- geodetske točke in CBPS,
- GKB-relief in TBVN,
- GKB-hidrografija.

V prvem primeru gre za popravke atributov, v drugem za dopolnitev geodetske zbirke, v tretjem pa za atributiranje podatkov, ki ne vsebujejo nadmorskih višin.

5.5.3.1 Vzdrževanje geodetskih točk in CBPS

Pri geodetskih točkah in CBPS sem statistično testiral razne točke in izločil tiste, ki so potencialno vsebovale grobe napake (razdelek 5.3.1.3). Pri tem sem uporabil referenčni DMV (refDMV). Predvidevam, da je samodejna metoda prav gotovo izločila tudi nekatere točke, ki niso vsebovale grobih napak. Prav zato bi bilo napake smiselno ročno preveriti (in ugotoviti vzroke za nastanek) ter jih odpraviti. S tem bi pridobili zaupanje v celotno zbirko geodetskih točk. Pri ponovnem izboljševanju izdelave DMR Slovenije bi morali popravljene točke in meritve novih točk preveriti na enak način kot pred tem, z novim referenčnim DMV.

5.5.3.2 Vzdrževanje GKB-reliefa in TBVN

V začetku sedemdesetih let prejšnjega stoletja so se na Geodetskem zavodu SRS lotili izdelave DMR 100 prav zaradi ugotovitve, da »računalniško orientiran GIS ne more samodejno izdelati plastnic, kot najpomembnejših topografskih in grafičnih elementov za predstavitev zemeljskega površja« (Banovec in Lesar 1975).

Pred izboljšavo plastnic glede na izdelan DMR, jih je smiselno dopolniti ročno iz kartografskega gradiva (razdelek 5.3.2.3). Nekaj teorije o samodejni izdelavi plastnic je navedeno v razdelku 4.6.2. Pri uporabi različnih virov za izdelavo DMR se je izkazalo, da se lahko zaradi dobrih rezultatov modeliranja lotimo učinkovite revizije obstoječih plastnic. Največ izboljšav lahko pričakujemo na območjih odkritih in odpravljenih napak kartiranja. Pri tem je zaradi velike razgibanosti površja pričakovati veliko problemov na kraških območjih.

Glavna ideja samodejne izdelave plastnic reliefa kot *izdelkov* DMR (glej tudi razdelek 5.5.4.1) na območju Slovenije je izboljšava vektorskega sloja plastnic merila 1 : 25.000 (GKB-relief) in kasneje, ko bo na razpolago dovolj natančen DMR, tudi izdelava vektorskih plastnic merila 1 : 5000 (TBVN). Tako proizvedene plastnice bi bile uporabne predvsem za kartografske namene, lahko pa tudi za uporabnike, ki si bodo tako z njih izdelali lasten DMR. Vendar takih (izvedenih) podatkov ne bi smeli nikoli več uporabljati kot virov pri izdelavi osnovnega DMR v Sloveniji. Glede na to, da so plastnice GKB-reliefa trenutno v precej slabem stanju, z veliko grobimi napakami in na geomorfološko strmih območjih celo brez podatkov (dodatek C.11), bi bila primerjava in izboljšava s samodejno izdelanimi plastnicami prav gotovo najcenejša in najenostavnejša. Spodaj so opisani trije koraki ideje izboljšave iz kartografskega gradiva zajetih plastnic.

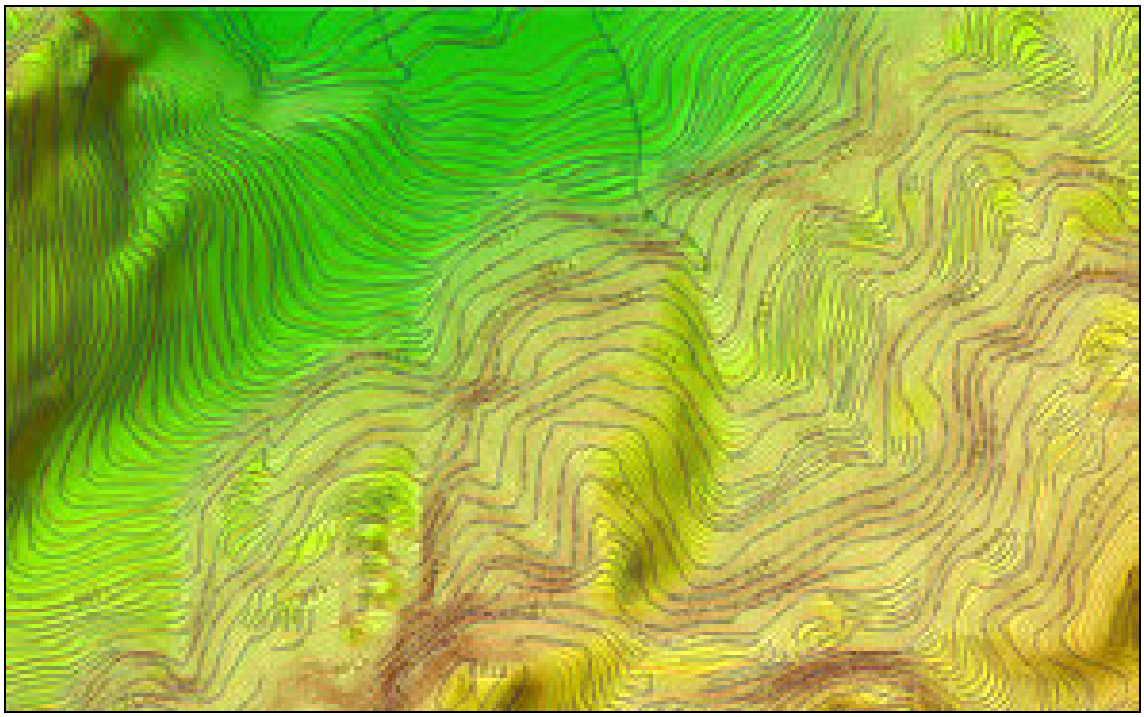
Merilo	Ekvidistanca plastnic [m]
1 : 100.000	10–40
1: 50.000	10–20
1 : 25.000	5–20
1 : 5000	0,5–10

Preglednica 14: Priporočljiva ekvidistanca plastnic glede na posamezna kartografska merila (Li in Sui 2000).

Samodejna izdelava plastnic (kot *izdelek DMR*). Izdelamo jih iz DMR s primernim izborom ekvidistance in z generalizacijo glede na kartografsko merilo. V prvi fazi zadovoljimo aplikacije merila 1 : 25.000 (GKB), kasneje pa 1 : 5000 (TBVN). Priporočljive ekvidistance plastnic za posamezna merila prikazuje preglednica 14.

Samodejna generalizacija plastnic (kot *izdelek DMR*). Generalizacija samodejno izdelanih plastnic (izdelka ZDPR) bo prišla v poštev takrat, ko bo možno izdelati izvedene plastnice za merilo 1 : 5000 (in jih generalizirati v merilo 1 : 25.000). Na splošno gre v tem primeru za izdelavo plastnic manjšega merila iz večjega z dvema možnostima:

- *posredna metoda*; generalizacija DMR, da postane primeren za samodejno izdelavo plastnic merila 1 : 25.000;
- *neposredna metoda*; generalizacija (poenostavitev) samodejno izdelanih plastnic v merilo 1 : 25.000; najbolje se obnese algoritem, ki deluje po t. i. »načelu narave« in ki mogoča med generalizacijo zmanjšanje detajlov, ne da bi se pri tem plastnice sekale med seboj in da bi ostale gladke; algoritem deluje tako, da se postavi meja, do katere izginejo vsi detajli (variacije) geografskih objektov, ki pri določenem merilu niso pomembni; detajl torej zamenja le ena točka; empirična vrednost detajla, ki še ostane na plastnici, je 0,6 do 0,7 m; metod za določitev točke, ki preostane namesto detajla, je več, najenostavnejša je t. i. vektor-raster; ta je uporabna celo za spreminjanje pogleda detajlov plastnic v realnem času (Li in Sui 2000).



Slika 68: Primerjava samodejno izdelanih plastnic (izdelka DMR), pri katerih je vsaka peta poudarjena z rdečo in označena z višino, ter plastnic GKB–reliefa (modre črte).

Popravki plastnic GKB-reliefa ali *TBVN*. Na podoben način kot v razdelku 5.5.2.4, izdelamo sloj nezadostne kakovosti s primerjavo DMV – izdelanega iz GKB-reliefa ali TBVN (npr. po metodi LIDIC) ter izdelka – DMR Slovenije. Do nezadostne kakovosti pride najpogosteje na območjih gozdov ali antropogenih sprememb reliefa (Dupéret

1999). Izdelamo tudi masko zelo razgibanih območij ter območij rek in cest, kjer manjkajo plastnice (npr. v GKB-reliefu, kjer ni bila mogoča polsamodejna vektorizacija) ali zaradi upoštevanja kartografskih pravil (glej bele lise na sliki 67). Postopek popravkov plastnic je naslednji:

- na območjih nezadostne kakovosti plastnic geodetskih zbirk (GKB-relief ali TBVN) in tam, kjer manjkajo, uporabimo samo samodejno izdelane plastnice; pri tem moramo morebitne plastnice obstoječih zbirk zbrisati;
- vizualno prekrijemo oba sloja prejšnje alineje: samodejno izdelane plastnice in popravljene plastnice geodetske zbirke; oba sloja bi se morala približno ujemati (slika 68);
- na območjih majhnih neskladij je treba ročno popraviti zbirko GKB-reliefa ali TBVN pri upoštevanju kartografskih pravil za določeno merilo in se pri tem sproti odločati, kateri sloj je boljši; tako dobimo sloj sklenjenih plastnic po vsem površju; z novimi izboljšavami naj bi vedno bolj prevladovale samodejno izdelane plastnice;
- posebej za kartografske namene lahko naknadno položimo prek sloja plastnic maske naselij, cest, rek, skalnega črkanja na strmih območjih ipd.

5.5.3.3 Vzdrževanje GKB-hidrografije

V koncept izdelave DMR smo vključili tudi obstoječ vir GKB-hidrografije brez atributov nadmorskih višin. Nadmorske višine lahko samodejno pripišemo omenjenemu sloju kot stranski izdelek pri izdelavi DMR. Dodatno bi lahko izboljšali tudi potek vodotoka v horizontalnem smislu glede na natančnejši DMR (glej tudi razdelka 5.3.2.3 in 5.3.2.5). Za območja stoječih voda bi bilo učinkoviteje in hkrati ekonomično ročno atributiranje. To pomeni npr. za celotno površje Slovenije 1800 vodnih površin, ki bi jih lahko praktično en človek atributiral v tednu dni, potem pa bi bilo treba podatke še preveriti. Popravljena sloja tekočih in stoječih voda bi lahko zamenjali s prejšnjim slojem GKB--hidrografije, kot ene izmed zbirk GU.

5.5.4 Organizacija zbirke digitalnih podatkov reliefa (ZDPR)

Celoten sistem imenovan DMR mora biti učinkovito upravljan. S tem počasi pridobiva na vrednosti (Östman 1993). Pri zasnovi upravljanja z DMR se naslanjamo predvsem na teoretične definicije geografskih informacijskih sistemov in na definicije zbirk podatkov. Strategija zasnove se nanaša na konceptualni, logični in fizični nivo (Longley et al. 2001, 233). V disertaciji se naslanjam predvsem na lasten konceptualni nivo. Pri upravljanju DMR Slovenije si predstavljam (glej tudi Rihtaršič 1990; 1992a; Radovan 1992c; Fras 1994; Hochstöger 1996; v oklepaju navedene celotne alineje nakazujejo neobvezne možnosti):

- zasnovo učinkovito strukturirane in uporabniško primerne zbirke digitalnih podatkov reliefa (ZDPR) z naslednjimi značilnostmi:
  - povezljivost z GIS (primeren format zapisa),
  - ločitev na (glej tudi Fras 1994):
    - *vire* (vključeni glede na analizo in ovrednotenje potencialnih virov),
    - *izdelke* (DMR Slovenije, DMV 20, DMV 100, značilne črte in točke, plastnice ipd.);

  - ne sme biti podvajanja podatkov,
  - (neodvisnost od strojne in programske opreme),
  - (relacijska zbirka z možnostjo poizvedovanja po velikem številu podatkov);
- zasnovo obratovanja ZDPR:
  - polnjenje, prenos, vodenje, hranjenje, arhiviranje starih podatkov,
  - kontrola kakovosti novih podatkov, izločanje in popravljanje slabših starih podatkov,
  - učinkovita predobdelava in obdelava DMR Slovenije ter izvedenih podatkov (analiza implicitnih informacij reliefa – npr. samodejna izdelava plastnic);
- zasnovo metapodatkovnega spremljanja kakovosti in samih metapodatkov v ZDPR (virov in izdelkov):
  - *za celotne sloje*; vodenje kakovosti posameznih slojev virov in izdelkov po metodologiji CEPP,
  - *za posamezne točke slojev*; vodenje kakovosti virov (po posameznih točkah, črtah ali mrežnih celicah) ter izdelkov (po posameznih mrežnih celicah DMV).

Najprej poglejmo nekaj delujočih oz. zasnov sistemov za upravljanje z DMR. Med njimi so: zelo izpopolnjeni SCOP.TDM z Dunaja, sistem za izdelavo globalnega DMV GTOPO30, katalonska zbirka v obliki TIN, osnutek sistema (predvsem za izdajanje), ki ga ima na razpolago GU in testna vzpostavitev zbirke podatkov reliefa na IGF.

Na Tehniški univerzi na Dunaju, Inštitutu za fotogrametrijo in daljinsko zaznavanje, imajo razvit celovit sistem za upravljanje s podatki DMR, imenovan SCOP.TDM. (*SCOP.TDM* 1999), kot del programa SCOP. Njegov predhodnik je bil program TOPIAS, ki so ga začeli izdelovati leta 1980. S sistemom SCOP.TDM upravljajo podatke, zapisane v lastno zbirko, ki so strukturirani tako, da jih lahko samodejno uporabljajo v modulu SCOP.DTM za interpolacijo podatkov. To pomeni tudi to, da so podatki že v samem sistemu SCOP.TDM shranjeni (kodirani) v strukturi, ki nato podatke karseda najbolje uporablja v pri interpolaciji. SCOP.TDM uporabljajo v Avstriji, Švici in na Bavarskem (Hochstöger 1996). Program omogoča naslednje možnosti (*SCOP.TDM* 1999):

- shranjevanje podatkov v zbirko, pretvorbo in opis metapodatkov zbirke,
- geokodiranje podatkov,
- 'topografski trg podatkov', ki omogoča stalno hranjenje podatkov o reliefu ter izbiro podatkov za interpolacijo,
- 'topografski trg izdelkov', ki omogoča upravljanje nad izvedenimi podatki,
- topografski grafični urejevalnik, ki omogoča upravljanje podatkov ter ročno brisanje ali dodajanje posameznih točk, črt ali območij ter drugo.

Enostavno zbirko podatkov so vzpostavili pri izdelavi DMV projekta GLOBE ter GTOPO30. V teh primerih je šlo za uporabo najrazličnejših DMV za različna območja sveta, ki so jih potem po kriteriju kakovosti enostavno sestavili v celoto za vso zemeljsko oblo (glej tudi *TerrainBase* 2000). Zbirka podatkov vsebuje tudi metapodatkovni sloj v obliki atributov celične mreže, ki predstavljajo vir, uporabljen za izdelavo DMV.

Leta 1987 so v španski Kataloniji začeli vzpostavljati zbirko podatkov reliefa s celično mrežo ločljivosti 15 m. Ugotovili so, da za izdelavo plastnic v merilu 1 : 5000 tak pristop ni zadosten. Odločili so se za zbirko podatkov na osnovi TIN. Model omogoča dinamično dodajanje in odvzemanje točk. Rešili so tudi problem zapisa okoli 300 milijonov točk v TIN, kar se s »klasičnimi« programi za triangulacijo ne da izvesti (Ruiz 2000; 2001).

Na GU imajo na razpolago aplikacijo (neke vrste zametek ZDPR) za upravljanje z izvedenimi podatki DMV. Omenjena aplikacija je do neke mere primerljiva s 'topografskim trgom izdelkov' dunajske aplikacije SCOP.TDM. Na IGF so leta 1991 izdelali manjšo poskusno zbirko podatkov reliefa za izdelavo DMV kot alternativo obstoječemu DMR 100. Večnamenska zbirka je vsebovala plastnice, lomne črte ter točkovne elemente in kóte reliefa. Izdelana sta bila tudi objektni in signaturni katalog (Radovan 1992c).

5.5.4.1 Zasnova obratovanja ZDPR

Zbirka digitalnih podatkov reliefa (ZDPR) opravlja funkcijo upravljanja in povezovanja podatkov ter informacij o strukturi in kakovosti za izdelavo in DMR. Glede na navedeno organizacijo upravljanja DMR Slovenije iz obstoječih geodetskih podatkov, predstavljam v nadaljevanju idealno in optimalno zasnovo regionalne oz. državne zbirke digitalnih podatkov reliefa (ZDPR). Načrt ZDPR je treba sicer podrobno napraviti med aktivnostmi pri pripravi za modeliranje DMR (razdelek 5.1).

Idealno bi bila ZDPR zasnovana kot distribuirana (s čimer se izognemo podvajanju podatkov) atributna in grafična zbirka podatkov reliefa (standardizirana kot DBMS, kakršna omogoča upravljanje velikega števila podatkov), ki bi imela neposredno povezavo s posameznimi obstoječimi zbirkami podatkov kot viri pri izdelavi DMR. Omenim naj, da omogočajo danes najpomembnejši proizvajalci DBMS tudi možnost vključevanja prostorskih podatkov, torej tudi geometrične razrede (Longley et al. 2001, 228, 232), poleg tega pa vsebujejo DBMS navidezno tudi vsi večji programi GIS.

Uporabnik bi najprej specificiral, kakšen DMR/DMV potrebuje. Sistem bi na njegovo željo neposredno in samodejno napravil zahtevani DMR/DMV, skupaj z informacijami o kakovosti (metapodatki). Aplikacija bi uporabila le tiste vire iz ZDPR (v tem primeru tudi širše, iz strežnikov po svetu; distribuirana tehnologija GIS; OpenGIS; Wirz 2001), ki bi bili glede na zahtevano območje in kakovost nujni. V ta namen bi morali posameznim zbirkam podatkov dodati podrobne metapodatke. Metapodatki so pomembni predvsem za obdelavo, kot stranski izdelek pa tudi kot informacije za potencialne uporabnike. Taka zbirka podatkov bi vsebovala tudi izdelke DMR (izvedene podatke), kot so DMV različne ločljivosti, skelet reliefa, plastnice, sence ipd.

V Sloveniji so obstoječi geodetski in drugi podatki različne kakovosti dejansko medsebojno neodvisno organizirani po različnih zbirkah podatkov. Te so organizirane in dostopne na različne načine, shranjene na različnih mestih in z različnimi formati zapisov, zanje pa so izdelane različne aplikacije za upravljanje. Glede na omenjene ugotovitve ni uresničljiva možnost zasnove idealne, distribuirane ZDPR. Za zdaj tudi ni uresničljiva možnost neposredne obdelave DMR iz ZDPR po željah uporabnikov, saj bi zahtevala zelo veliko računalniške obdelave in s tem tudi stroškov. Realno, takoj uresničljivo in optimalno bi ZDPR delovala po naslednjem principu:

- samostojna zbirka podatkov oz. dejansko skupek zbirk podatkov, ki navidezno sestavljajo ZDPR (pri uporabi ustrezne aplikacije);

- ažurna ciklična (čim bolj samodejno, npr. letno ali po potrebi):
  - obnova z *viri*, uporabnimi pri izdelavi DMR/DMV iz posameznih zbirk podatkov (neprestano dopolnjevanje glede na nove podatke ter na morebitne naravne in antropogene spremembe reliefa);
  - obdelava *izdelkov DMR* ter arhiviranje starejših podatkov pri vsaki (večji) obnovi.

Viri za izdelavo DMR so opisani v dodatku C, mednje pa spadajo tudi sloji samodejnih regionalizacij Slovenije (razdelek 5.2.1.2), medtem ko so izdelki DMR opisani v razdelkih 4.6, 5.5.1 in 5.5.3.

5.5.4.2 Zasnova metapodatkovnega spremljanja kakovosti v ZDPR

V zbirki digitalnih podatkov reliefa (ZDPR) je treba spremljati kakovost tako za vire, kot tudi za izdelke. Na splošno ločimo naslednja principa:

- za celotne sloje in
- za posamezne točke slojev.

Za celotne sloje vodimo opis kakovosti virov in izdelkov po metodologiji CEPP, ki se nanaša na metapodatkovne standarde za geografske informacije. Praktično lahko vpišemo metapodatke v aplikacijo 'Mpedit' bivšega Geoinformacijskega centra pri Ministrstvu za okolje in prostor (*CEPP* 1997–2000). Tako zapisani metapodatki bi bili dostopni vsem potencialnim uporabnikom.

Za posamezne točke, mrežne celice ter črte vodimo opis kakovosti virov in izdelkov v ZDPR glede na samodejne regionalizacije za spremljanje kakovosti, opisane v razdelku 5.2.1.2. Rezultati regionalizacij so kot metapodatki shranjeni v ZDPR. Pomembni so kot parametri in kode pri izdelavi DMR. Nekatere izmed takih metapodatkov obnovimo le enkrat ali občasno, druge pa pri vsakem vzdrževanju DMR. Prve imenujemo stalne metapodatke, druge pa dinamične. Med *stalne* sloje spadajo (glej tudi razdelek 5.2.1.2):

- sloji za določitev standardnih območij pri kontroli kakovosti virov in izdelkov,
- sloj zahtevane kakovosti DMR,

Dinamični sloji pa so naslednji:

- sloji za statistično oceno natančnosti/točnosti virov in DMR,
- sloji deležev virov ter sloj prevladujočih (glavnih) virov pri DMR in
- sloja območij nezadostne ter empirično nedoločljive kakovosti DMR.

Vsi metapodatki bi bili zanimivi za vzdrževanje DMR. Za potencialne uporabnike bi bili uporabni le poenostavljeni metapodatki, zapisani v enotno celično mrežo z istim izhodiščem in ločljivostjo ter informacijami, kategoriziranimi po tipičnih skupinah. Za njih bi bile zanimive statistične ocene natančnosti izdelka DMV 20 (RV) ter kot opcija tudi sloj z datumi zadnjih popravkov nadmorskih višin. Uporaben bi bil tudi sloj z opisom prevladujočih virov RA pri obdelavi DMV 20.

V ZDPR vodimo med viri tudi druge sloje regionalizacij, in sicer za predobdelavo ter obdelavo. Ti sloji so dinamični in jih izdelamo samodejno glede na nove vire, ki jih imamo na razpolago. Poleg omenjenih zveznih slojev metapodatkovnega zapisa kakovosti virov v obliki celične mreže, lahko vodimo v taki obliki tudi metapodatke o sloju plastnic (npr. predhodno interpolirane z metodo LIDIC). Druge metapodatke slojev, za-

pisanih v vektorski obliki, npr. točke, pa vodimo v obstoječi strukturi po posameznih točkah. Pri posameznih točkah je najpomembnejši metapodatek (binarni) parameter, ki pogojuje njihovo vključitev v obdelavo. Tak parameter se lahko spremeni, če npr. odpravimo grobe napake točk.

6 SKLEP

V preteklih desetletjih se je uveljavilo nekaj klasičnih metod zajema podatkov za izdelavo digitalnega modela reliefa (DMR). Med njimi sta prednjačili zaradi subjektivne generalizacije slabša in nekoliko cenejša digitalizacija plastnic ter fotogrametrični zajem podatkov reliefa kot naravno nadaljevanje uveljavljene možnosti zajema analognih plastnic. Pri modeliranju so uporabljali, kot tudi še danes, le najboljše podatke, zajete po isti metodologiji. Stare (in ne nujno tudi slabe) podatke so pred izdelavo boljšega DMR enostavno zavrgli. Za obdelavo DMR so v uporabi raznovrstne interpolacijske metode. Izbira prave metode je odvisna predvsem od vrste podatkov, načrtovane kakovosti in strukture zapisa DMR.

Predvsem zaradi zahtev po čim višji natančnosti, hitrosti izdelave od zajema do modela in zaradi kroničnega pomanjkanja sredstev za izdelavo kakovostnih DMR, je zaslediti nekaj poskusov akademskih pristopov izdelave s kombinacijo različnih virov podatkov na manjših testnih območjih. Lasten pristop na tem področju sem opisal v doktorski disertaciji. Glede na rezultate poskusov na obširnih testnih območjih ugotavljam, da izdelava kakovostnega DMR iz obstoječih podatkov različne kakovosti kljub novim, vedno natančnejšim tehnikam zajema podatkov reliefa, prav gotovo še veliko obeta.

V nadaljevanju sklepa so povzeti rezultati teoretičnega in praktičnega dela disertacije. Na začetku disertacije je pregledno opisana zgodovina – od analognih do digitalnih modelov reliefa. Prednosti slednjih pred analognimi so predvsem večje možnosti izvajanja prostorskih analiz. Glede na že tridesetletno tradicijo DMR v Sloveniji, sem povzel pomembnejša dogajanja, ki sodijo že v zgodovino. Na samem začetku je bilo veliko dejavnosti, usmerjenih v izdelavo zelo kakovostnega digitalnega modela na svetovni ravni. Na žalost so se te končale zaradi tehničnih in finančnih težav še pred dokončanjem DMR 100. Predvsem v začetku devetdesetih let prejšnjega stoletja je spet zavladal optimizem glede izdelave kakovostnega modela, vendar konkretnih rezultatov (spet) ni bilo. Prav zato so se mnogi začeli ukvarjati z modeliranji lastnih, različno uspešnih modelov reliefa. Preteklo leto je bilo narejenih nekaj konkretnih in koristnih korakov, med katerimi je bila tudi ekonomična izdelava trenutno najboljšega InSAR DMV 25 za vso Slovenijo. Eden izmed namenov te disertacije je bil podati nekaj izhodišč za izdelavo modela želene kakovosti za celotno Slovenijo.

Teoretični del disertacije obravnava opis možnosti izdelave DMR iz obstoječih podatkov različne kakovosti. Navedel sem nekaj idej, od preprostejših do zapletenejših. Pri

tem je bilo seveda pričakovati boljše rezultate pri uporabi zapletenejših metod. Kot najpomembnejšo sem izpostavil najzapletenejšo metodo ter kompromisno metodo glede na ekonomičnost, ceno izdelave, vzdrževanja in kakovosti DMR. Tako dosežen optimum izdelave bi lahko v prihodnosti izpeljali z uvedbo inteligentnega GIS kot sistema za izdelavo DMR. Vseboval bi pravila za iskanje optimalnih postopkov in orodij za rešitev zastavljenih problemov pri modeliranju. Omenjen sistem bi lahko izbral lokalno najboljše metode pri izdelavi DMR.

Ob koncu teoretičnega dela disertacije sem glede na podrobno analizo postavljene definicije obširno pojasnil pomembnejše elemente modeliranja reliefa. Upoštevajoč logiko izdelave DMR omenjen pristop morda v vseh pogledih ni najbolj primeren. Vendar je predvsem glede splošne preglednosti ter pedagoških elementov odlična osnova in protiutež praktični izdelavi DMR. V teoretičnem delu je obravnavanih večina tehnik, ki so bile nato uporabljene v praktičnem delu disertacije. Za neposredni doprinos k znanosti izpostavljam naslednje metode:

- metodologija reduciranja in dodajanja podatkov nekaterih virov glede na ugotovljeno razgibanost površja po analogiji stopnjujočega vzorčenja pri uporabi t. i. referenčnega DMV,
- sklop metod na osnovi regionalizacij, ki vključujejo poznavanje in analize naravnih in antropogenih značilnosti reliefa ter ocene kakovosti virov in DMR,
- nadgradnja interpolacijske metode LIDIC, ki postane s tem uporabna tudi za interpolacijo med nepopolnimi plastnicami,
- učinkovite metode za določitev celotnega skeleta reliefa, ki vsebuje podatke višin, na osnovi celične mreže,
- dve gospodarni metodologiji obdelave DMR iz več skupin nehomogenih virov pri upoštevanju statistične in geomorfološke kakovosti z možnostjo nadgradnje z vedno novimi viri.

V praktičnem delu disertacije sem na primeru koncepta izdelave DMR Slovenije uporabil v teoretičnem delu opisane pomembnejše metode in jih podrobno analiziral. Ugotovil sem, da je iterativnost postopka v povezavi z interaktivnostjo izdelave nujna za dosego najboljših rezultatov. Pri tem gre za pridobivanje primernih parametrov modeliranja, ki ni mogoče brez natančnega poznavanja virov in dejanskega reliefa. Še več: če želimo izdelati res dober DMR, si je najbolje ogledati dejanski relief (ali ga celo prehoditi) in ga s tem temeljiteje spoznati. Pri avtomatiziranem postopku modeliranja sem deduktivno pridobil parametre za prvo iteracijo. Poskusi so pokazali, da lahko že v drugi iteraciji empirično pridobim parametre visoke kakovosti, ki se je v naslednjih iteracijah ne da več občutno izboljšati.

Najpomembnejši problemi, s katerimi sem se tem srečeval pri predobdelavi podatkov za izdelavo DMR, so bili naslednji:

- različni formati zapisa posameznih zbirk podatkov,
- različni in večinoma nezadostni metapodatki o kakovosti virov,
- veliko število grobih napak pri večini virov,
- zelo različna kakovost virov,
- zelo različna gostota virov,

- odvisnost med posameznimi viri ter
- na splošno premalo razvite metode za kontrolo in oceno kakovosti podatkov.

Naštete probleme sem premoščal na različne inovativne načine. Izkazalo se je, da sta priprava in predobdelava najpomembnejša postopka pri izdelavi modela reliefa. Glede obdelave DMR je zanimiva ugotovitev, da v vseh primerih ni izrazito (vseeno pa nikakor ni zanemarljivo) pomembno, katera izmed več primernih interpolacijskih metod naj bi bila izbrana. S tem sem ovrgel predhodna pričakovanja. Za poenostavitev obdelave se je kot pomemben izkazal pristop ločitve virov na homogen *osnovni sloj* in na preostale *sekundarne vire*, ne glede na izbrano metodo obdelave.

Pri obdelavi DMR sem predlagal in preizkusil dve metodi, zapletenejšo in optimalnejšo. Pri prvi, *metodi hkratne interpolacije virov*, je bilo treba biti zelo pazljiv, natančen in domiseln pri predobdelavi. V takem primeru so bili lahko rezultati zelo dobri. *Metoda utežnega seštevanja* je enostavnejša. Pri modeliranju odpade večina precej občutljivih postopkov dodajanja in reduciranja podatkov. Prednost obdelave DMR po tej metodi je, da vanjo enostavno vključujemo postopke predobdelave. Pri dodajanju posameznih virov je možno enostavno spremljanje kakovosti, seznanjanje z deleži posameznih virov pri izdelavi DMR ter enostavno in učinkovito vzdrževanje. Najboljša lastnost metode utežnega seštevanja je enostavna matrična obdelava podatkov in s tem hitrejša izdelava DMR. Poglavitna slabost je izguba nekaterih detajlov, ki jih sicer opisujejo značilne točke in črte.

Ker je bila za izdelavo DMR najzanimivejša optimalna metoda utežnega seštevanja, jo na kratko povzemam:

- priprava modeliranja,
- predobdelava, ki obsega:
  - podrobno analizo kakovosti virov;
  - izdelavo modela za odpravljanje grobih napak (referenčnih) točk glede na referenčni DMV;
  - izdelavo modelov za odpravljanje grobih in sistematskih napak virov, ki se jih da zapisati kot zvezne sloje in
- obdelava z:
  - interpolacijami posameznih zveznih slojev – v odvisnosti od narave virov, v ploskve celičnih mrež enake ločljivosti in istega koordinatnega izhodišča;
  - mozaičenjem v osnovni sloj;
  - utežnim seštevanjem slojev predvsem glede na parametre analiz kakovosti;
  - geomorfološkimi popravki s pomočjo ploskev trenda;
  - upoštevanjem (nekaterih) referenčnih točk;
  - izboljšanjem modela na osnovi hidroloških analiz.

Pri pripravah na modeliranje sem upošteval pri obeh metodah iste postopke, drugi koraki pa so se glede na uporabljeno metodo razlikovali. Pri metodi utežnega seštevanja slojev se je izkazalo, da je sekundarne vire najbolje seštevati postopoma, drugega za drugim. To omogoča spremljanje doprinosa posameznih slojev h kakovosti DMR. Sekundarne sloje je najbolje razvrstiti tako, da so najprej uporabljeni slabši in nato postopoma

vedno boljši. S tem dosežemo brez velikih in nepredvidljivih sprememb postopno in zanesljivo izboljševanje ploskve DMR.

Rezultati modeliranja po obeh metodah obdelave kažejo na učinkovitejšo ter statistično in geomorfološko-vizualno neprimerno kakovostnejšo izdelavo DMR, kot jo premorejo trenutno najboljši modeli reliefa Slovenije. To so pokazale tudi statistične in vizualne analize kakovosti. Prepričan sem, da bi dobil z vsemi drugimi navedenimi metodami izdelave DMR slabše rezultate. Za vso Slovenijo je realno pričakovati DMR s povprečno vertikalno natančnostjo 3,5 m ali boljšo.

Poleg najpomembnejših izdelkov, DMR in DMV, so pomembni tudi t. i. stranski proizvodi, ki jih vključuje koncept izdelave DMR. Mednje sodijo popravki geodetskih zbirk, uporabljenih pri izdelavi DMR ter samodejna izdelava plastnic, skeleta in senc reliefa. Samodejno izdelane plastnice lahko uporabljamo samostojno za poljubno kartografsko merilo ali pa za izboljšanje plastnic v topografskih zbirkah različnih meril. Za učinkovito izdelavo plastnic za karte meril 1 : 25.000 in večjih, je poleg celične mreže nujna vključitev skeleta reliefa v hibridno strukturo, kakršno omogoča npr. SCOP. V takem primeru goli podatki DMV torej niso dovolj. Sicer pa je lahko skelet reliefa za različne možnosti uporabe na razpolago tudi samostojno. V disertaciji je opisana tudi metoda izboljšave plastnic kartografskega gradiva, pri kateri primerjamo samodejno izdelane plastnice in prvotni sloj plastnic topografske zbirke med seboj. Metoda je mnogo cenejša od morebitnega dodatnega zajema in obdelave podatkov. Na osnovi digitalnega modela samodejno izdelane sence po metodah analitičnega senčenja semantično prav gotovo niso tako dobre kot ročno izdelane. Kljub vsemu je omenjena tehnika glede na hitrost in kakovost bližje optimalni rešitvi od ročnih.

Za upravljanje s podatki o reliefu sem predlagal zasnovo zbirke digitalnih podatkov reliefa (ZDPR). Najbolje bi bilo, da bi bila zbirka zaradi čim manjšega podvajanja podatkov distribuirana. Obravnavana zasnova se nanaša na znana dejstva o podatkih GU, ki ne omogoča najboljše rešitve. Predlagal sem, da naj bi bila ZDPR organizirana tako, da bi omogočala učinkovito upravljanje z opisanimi viri in izdelki. Izdelki naj bi bili ciklično arhivirani, njihova kakovost pa spremljana z metapodatki. Zbirka naj bi bila odprta za nove vire ter za različne ločljivosti DMR/DMV.

V disertaciji sem pokazal, da je možno izdelati kakovosten DMR z modeliranjem podatkov različne kakovosti. Opisal sem možne in predlagal najboljše in optimalne poti do izpolnitve zastavljenega cilja. Nekaj naslednjih let bodo plastnice prav gotovo glavni vir za izdelavo DMR, kasneje pa bodo prevladale druge tehnike, predvsem tiste, ki bodo omogočile karseda samodejno pridobivanje kakovostnih podatkov. Za vso Slovenijo bi bilo smiselno vektorizirati tudi plastnice s kart TTN 5, saj so podrobnejše in manj generalizirane od obstoječe zbirke plastnic GKB-reliefa. Poleg tega pa bi bil dodaten sloj plastnic tudi odlična neodvisna kontrola DMR za vse ozemlje Slovenije. Pričakovati je tudi, da se bo laserska tehnologija tako pocenila, da bodo lahko tako pridobljeni podatki čez pet let najpomembnejši pri izdelavi DMR. Vendar pri tej tehniki ne moremo pričakovati dobrih rezultatov na zelo razgibanem površju gora ali na z gozdovi poraslih območjih.

Tudi glede tehnik interpolacije je pričakovati postopno, vendar ne bistveno izboljšanje. Na tem področju daje v odvisnosti od okoliščin največ upanja lokalna prilagodljivost izbire interpolacijskih oz. celotnih metod za obdelavo. Prepričan sem, da bodo modeli izdelave DMR iz podatkov različne kakovosti, kakršen je npr. opisan v disertaciji, aktualni tudi takrat, ko bodo postale novejše tehnike kot je lasersko skeniranje, neprimerno

cenejše in popolnejše. Poudariti velja, da ima vsaka tehnika zajema podatkov slabosti, ki se jim ne da izogniti. Prav najboljše metode kombiniranja različnih virov omogočajo majhno, postopno in kontrolirano izboljšanje modela reliefa brez morebitnih novih večjih napak. S tem dobimo zelo dober DMR, ki je na nekaterih območjih boljše kakovosti, drugod pa slabše. Kakovost v tem primeru ni odvisna le od razgibanosti površja, tako kot npr. pri DMR 100, vendar tudi lokalno od kakovosti uporabljenih virov.

Pri poskusih samodejne izdelave DMR se je pokazalo, da je ta podobna samodejni izdelavi hiše. Posamezne dele se da izdelati vnaprej (prefabricirano), poleg tega pa je lahko tudi sestavljanje delov v celoto avtomatizirano. Kljub vsemu pa še vedno ostajajo pomembni detajli, ki se jih nikakor ne da avtomatizirati in jim tudi umetna inteligenca ne more biti kos. In so vendar pika na i pri izgradnji hiše. Npr. šopek rož na mizi. Podobno je tudi z interpretacijo na slepo vzorčenega DMR (Lemmens 1999a). Za izdelavo modela reliefa iz »slepih« podatkov je pomembna človeška inteligenca. Noben algoritem se ne zna in se tudi ne bo znal pravilno odločati pri reševanju vseh problemov, ki se lahko pojavijo pri modeliranju. Prav zato je treba DMR kljub vsem znanim metodam vedno znova podrobno preverjati.

7 DIGITAL TERRAIN MODEL FROM VARIOUS DATA SOURCES OF DIFFERENT QUALITY (SUMMARY)

Digital terrain model (DTM) data is set of heights above sea level using continuous and usually smoothed surfaces. It is a continuous variation of height attributes over a two--dimensional surface. Alternatively a DTM definition views the set of DTM points as discrete data. The data is mostly recorded with only one attribute – height – and is considered as 2.5-dimensional. Within respect to a DTM, a digital elevation model (DEM) is related and basically considered as a raster-based model.

The main goal of this dissertation is the integration of existing data of different quality and its implementation with convenient technology for high quality DTM production. The methodology refers to the production of DTM surfaces with respect to the different data quality of sources. Beside a contribution to modelling digital terrain model as science, an applied aspect of the study had to be developed. It therefore includes practical suggestions for data selection, pre-processing, and evaluation decisions, the possibilities and limitations of particular techniques for quality control, interpolation parameters, etc.

7.1 REVISION OF TERRAIN MODELLING IN THE WORLD AND SLOVENIA

The thesis begins with the development of terrain modelling globally and in Slovenia. With respect to the format, *analogue terrain models* are introduced. They are considered as precursors of digital models. The first preserved representation of the Earth's surface is from Anatolia (Turkey) c. 8000 years ago. Quality presentations of terrain occur in Mesopotamia after 4500 years ago. The Greeks achieved significant steps in terrain representation through development of the study of geometry. This tradition was continued by Arab scholars. Enhanced development of techniques for terrain representation was initiated during the Renaissance in 16th century. Terrain representation became more natural and metrical, and included cartographic projections. Plastic methods of hatching were used later, coloured hypsometrical presentations, hillshading, spot heights, contour lines and other techniques were developed. Today, analogue techniques are still developing, but they are supported by digital terrain models.

In general, the study of *digital terrain models* (DTM) has been introduced to geodesy and to spatial sciences since the mid-fifties in the United States. The concepts of DTM production are connected with development of computer science, which enabled effective analytical data processing. Remote sensing and digital photogrammetry is associated with this development and are associated with other methods and techniques for data acquisition, assessment, interpretation and measurement digital images. Until the mid-seventies, most work was based on experimental regional DTM production. Principally, because data processing and acquisition of DTMs was very expensive.

Non-experimental DTM production started essentially in Northern America and Europe. Most DTMs in the United States and Canada were based on digitised contour lines from maps. In Europe it was generally believed that much more better DTMs could be produced through photogrammetrical method. During the last decade contour line digitisation has become more popular in Europe. It is included in most forms of terrain modelling. Better modelling results using contour lines requires pre-processing, including computing of characteristic points and lines, filling up the areas without contour lines, etc.

During recent years, laser-scanning techniques have become available. They are useful for regions which require higher quality terrain models, especially in wooded areas. Laser-scanning and aero photogrammetry became more useful when supported with GPS. Radar satellite images with resolution less than 30 m, and radar interferometry technique are also very promising especially for global mapping at 10 m height accuracy.

In *Slovenia*, the first research into digital terrain model production date from the late sixties. The first attempts to acquire height data on a regular grid is considered to be a 'relative terrain model of Domžale commune' at a scale of 1: 150,000. The attempt by Ljubljana's urbanists to produce a manual terrain model of Ljubljana on a 500 m grid should be also mentioned. In both of these experiments only simple height levels, suitable for digitisation were recorded.

In 1973 the 'Geodetski zavod SRS' started DEM production. This is known as 'DMR 100' with a grid resolution of 100 m for the whole of Slovenia. Production was slow, so they started production at a lower resolution 'DMR 500', finishing the project in 1975. 'DMR 100' was finished many years later, in 1984. Its last revision was in 1995. In the beginning 'DMR 100' (and maybe until the end of its production in 1984), the output of the project was comparable with that produced elsewhere in Europe and the world. But there was not so much demand for the product from specialists and potential users as it was expected. This could be a result of poor organization and advertisement, and a non user-friendly data storage format for direct use in CAD and GIS systems. In recent years, its principal problem was its low resolution and accuracy.

Another significant information source is 'DMR 25', which covers about three quarters of Slovenia, whose production started for the purposes of digital orthophoto production. 'DMR 25' is much better than 'DMR 100', but expected geomorphological and statistical quality has not been achieved. During the last year 'InSAR DMV 25' has been produced using radar interferometry techniques. Statistically its quality isn't as good as 'DMR 25', but it covers Slovenia entirely and is much more homogenous. Local digital elevation models are also available from some institutions and companies (the army, telecommunication companies, etc.) and these are sufficient for their needs. In the thesis, the most important DTMs in Slovenia were analysed in detail. Further on the most

frequent applications in Slovenia, carried out with DTM (mostly with 'DMR 100') data were analysed chronologically.

7.2 Evaluation of possibilities for production of Slovene DTMs

In the thesis the potential for *DTM production from various data types was analysed* for the Slovenia case study. Overview of usage in the past and some planned uses were analysed in the beginning. The results of opinion polls from the last 10 years indicated that potential DTM users demand high resolution up to 10 m and accuracy/precision up to 1 m. Demands of cartographers for example were for cartographic databases at a scale of 1 : 50,000 to 1 : 5000. Slovene DTM experts tried to consider these demands in their plans for new DTM production. Unfortunately all of the proposed methods were too expensive to be realised. Another problem was that proposed intermediate steps (as the first phase of DTM production) didn't allow the highest required quality in the final phase.

Experience of DTM production in Slovenia and experimental achievements elsewhere encouraged the idea that DTM could be achieved from various existing data sources. In the meantime, the quantity of geodetic and other data that included height above sea level dramatically increased in Slovenia. Later the availability of some DTMs with different but mostly higher quality than existing 'DMR 100' also increased. The hypothesis of my thesis is that an appropriate method for the combination of existent data with, or even without, heights could be used for the generation of high quality DTM production. The model for DTM production from different data sources was to be open for improvement using newer and better data. Establishing such a system should be economical and must reach basic – satisfying – standards for even with low input. The thesis gives a clear insight into the possibility of DTM production from various data sources of different quality. It has been a big challenge with respect to theoretical concepts and also practical solutions.

7.3 Elements of DTM modelling

To produce high quality DTMs from various data sources, *the theoretical basis of DTM modelling were described in detail*. A structure was based on a DTM definition using the following elements (objects): data objects, structural information, continuous functions that enable approximation of the Earth surface, quality information, and methods for implicit information of terrain analysis.

The first two components, *data objects* and *structural information* represent the skeleton of the model. Data elements, which are understand as supports for the model, explicitly describe high levels of the points, lines or polygons, based on Cartesian coordinates. These elements are often recorded as raster cells (only points) or as triangular irregular networks (TIN). Structural information defines a special terrain meaning for data elements, relations between the data elements and the meaning of the relations. Most of these are topological or special terrain information such as morphological, hydrological, or derivative. Terrain is approximated as a set of *continuous functions* with regard to the modelled area. For a reliable digital terrain model, suitable semantic in-

formation about the surface and a suitable deconstruction of the region required. This is the base for the fourth component of the terrain definition, which is *quality information*. DTM modelling performs an abstraction of the real terrain using semantic information. With respect to the definition, DTM can offer implicit or explicit terrain information. *Implicit information* is logically incorporated into the model and is not directly accessed. The DTM must contain special methodologies for analysing implicit terrain information. If the DTM is included in a GIS, those methods are performed with tools for spatial analyses.

7.4 APPLIED CONCEPT FOR SLOVENE DTM PROCESSING

An applied concept for DTM production tested during the work based on data available in Slovenia. The main steps were the following (a more detailed but still rough scheme of production model is shown on a graph below):

- preparation for DTM processing,
- pre-processing of data sources,
- processing DTM from sources, and
- management with terrain data.

7.4.1 Preparation for DTM processing

Preparation for DTM processing is important for identifying problems which may appear during DTM production. Beside theoretical activities, the practical act of modelling figures highly within the thesis.

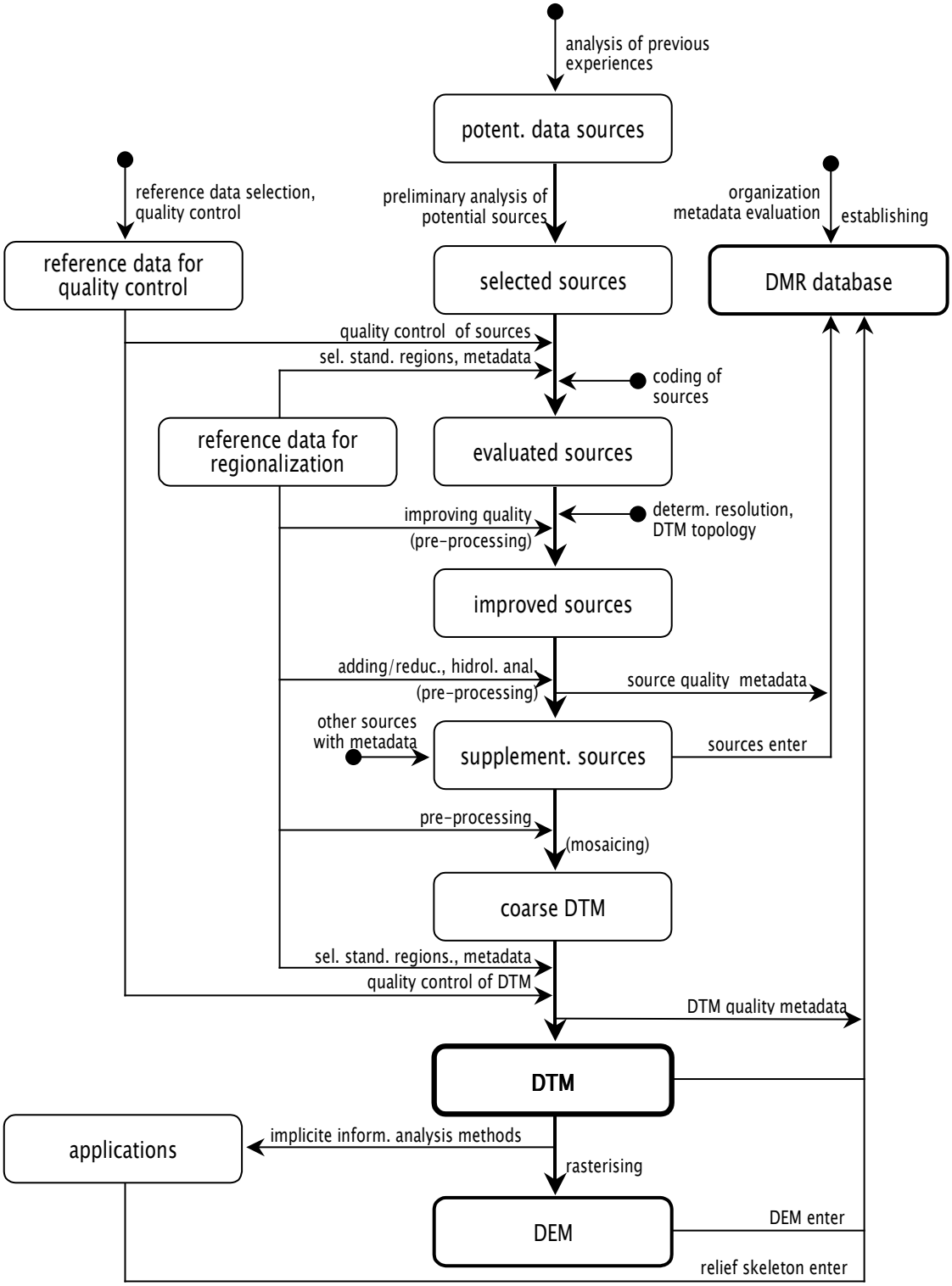
Test regions were selected very carefully. The selection was based mostly on surface type and roughness (flat surface, hills, karst, mountains, etc.), and also with consideration of the vegetation (which has an influence on data accuracy), available datasets (data is non-homogeneously distributed over Slovenia), previous knowledge about real terrain surfaces, and quality of sources. Within preparation, the sources were coded with appropriate parameters with regard to types of source.

Automatic regionalisation should also be mentioned along with complex methods which supporting DTM production. Regionalisation of Slovenia was used for metadata monitoring, pre-processing and processing. Regionalisation derived from regionalisation variables which were divided according to natural and anthropogenic characteristics of surfaces and with regard to sources and DTM quality. Variables were generated from different cartographic sources and spatial databases. Regionalisation were produced from variables by models (with mostly empirical parameters) based on map algebra operations.

7.4.2 Pre-processing of data sources

Pre-processing of data sources based on management of input data. In some cases this part of DTM modelling depends on the later processing methods. Within pre-processing, all potential sources were detail-tested for applicability within DTM processing. During this step, sources were provided with detail parameters for processing.

Pre-processing methods were based on various visual and statistical controls or combinations of these techniques.



An assessment of the impact of overall sources quality was derived using visual controls. In the thesis many possible methods for visual quality control were systematically

described and assessed. Because of the insufficient and incorrect metadata in some case studies, such methods required 'detective' work to assess the source and lineage errors of some sources, e.g. 'DMR 25'. On the other hand, visual methods were used as the most appropriate for gross errors assessing including contour lines e.g. GKB-relief. Visual comparison of different data sources was also very effective to assess overall quality and possible problems for further usage. Unfortunately, in Slovene praxis, visual methods were ignored in the past.

With statistical methods other aspects of data nature investigated. It was assumed that it would find a 'global' method for data tests, which would be effective for the whole of Slovenia. There are following steps were followed for statistical methods:

- elimination of gross errors of reference points using reference DEMs,
- statistical evaluation of non-point sources with reference points,
- systematic error elimination from non-point sources.

For *elimination of gross errors from reference points*, a high quality reference DEM was produced. At a later date a weight coverage was processed as an another key data set. Weight coverages were based on prior knowledge of the nature of random deviations of the reference DEM. Regionalisation for this task considers terrain roughness, karstic qualities, vegetation, hydrological networks, standing water and other flat areas, transport networks, and operator error. 'Method of variances' were used to eliminate gross errors from reference points. The method compares absolute difference between reference points and reference DEMs with threshold (permitted distance), relating to the weight coverage. When threshold is exceeded, the relevant point was considered to contain a gross error. It was marked and eliminated.

The *statistical evaluation of the non-point sources* was allowed with a corrected reference set. After initial analyses, standard regions for metadata monitoring were used. The most important categorisations were selected in respect to: terrain roughness, slope, terrain skeleton (sinks, valleys, saddles, ridges, and peaks), and vegetation. The most important parameters were the RMS error, which whilst coarse and approximate, determines a random error, and mean error that accords with a systematic error.

With very precise parameters for sources quality, *systematic errors should be eliminated from non-point sources*. For this task, parameters were used for mean error and derived from statistical evaluation. Considering parameters and regarding standard regions, every source was corrected separately. Results of another statistical evaluation showed that systematic error elimination is necessary for DTM processing with data of variable quality.

After statistical analyses and some automatic data source correction, *manual elimination of gross error* is necessary for most non-point sources. The process is based on several visual techniques for error recognition and elimination.

Another important pre-processing step is the *adding and reduction of data sources*. This doesn't mean elimination of gross and systematic errors but correction of sources from geomorphological enhancement or additional preparation for more efficient DTM processing and includes:

- automatic data attribution,
- automatic data enhancement (densifying),
- manual acquisition of additional data,

- automatic reduction (generalisation) of redundant (secondary) data, and
- automatic modification of geomorphologically incorrect data.

Automatic data attribution means adding height attributes to specific data. For this purpose the intersection of contour lines (GKB-relief) with data from the same sources as hydrological network (GKB-hidrografija) and watershed lines has been carried out. This method did not produced useful results. The reason was that the process was not appropriate to the quality or distribution of data sources.

Automatic data enhancement was especially useful for the improvement of data source distribution for the simultaneous interpolation method. Two approaches which are *analogues* to known techniques were applied: *selective* and *progressive sampling of acquired data* for DTM construction. In the thesis, the methods were especially useful to enhance contour lines (GKB-relief) which could as analogue data describe the terrain much more efficient than as digitally. Both sampling methods employed TIN (vector) and LIDIC (raster) methods. In most cases the second approach gave better results, but it required more processor time. On the base of LIDIC interpolation it was developed a method analogous to selective sampling. The method includes also terrain skeleton recognition. With a method analogous to progressive sampling, additional data between contour lines were calculated with regard to terrain roughness using an appropriate regionalisation.

Manual acquisition of additional data is on the one hand attribution of data without using automated procedures which could produce incorrect results. This is most appropriate for polygons which represent standing water. One attribute in this case is enough to classify the complete lake, for example. Manual acquisition of such data structures is much faster then, for example, manual attribution of hydrological networks. On the other hand, manual acquisition also considers geodetic measurements, data from cartographic sources, photogrammetrical methods, etc.

Automatic reduction of redundant data is using for easier and faster DTM production. Considering final resolution of DTM, should be eliminated data which doesn't have any effect for improvement. Automatic reduction can be used also for DTM generalisation.

Automatic modification of geomorphologically incorrect data involves a set of methods, which changes the data sources on the way and the DTM processing provides a higher quality result then would otherwise be the case. In the thesis, three methods were employed. The first was eliminating the bulk points near to characteristic lines, points and structural lines (for example elimination of DMR 25 points near to river-lines). Next was a robust estimation method for elimination of points that were vertically too far from interpolated DTM surfaces. Such points are most likely unsuitable. The final methods were hydrological analyses. Here DTMs became more correct hydrologically. With respect to hydrological networks, rivers should flow downhill and there should be no spurious lakes. For this spurious sinks were removed with respect to regionalisation and in relation to known terrain skeletons (real sinks). Within such hydrological analyses standing water levels were corrected.

7.4.3 Processing DTM from sources

Following DTM production evaluation two methods for DTM processing were developed and tested:

- a method of simultaneous sources interpolation (producing the DTM and from it the DEM),
- a method of weighted sum of sources (direct processing of the DEM).

The method of simultaneous sources interpolation is based on interpolation of all suitable sources together. This used an appropriate interpolation method is known as 'least square interpolation' which is based on computing the minimum variance or 'linear prediction'. In geostatistics the method is known as 'kriging'. The interpolation method is local and it uses so-called computing units. During interpolation it finds an appropriate function (theoretical surface) by considering particular points to which filter values are assigned. Filter values are also used to control a degree of the surface smoothens. Different filter values (as variances or weights) were assigned according to data codes (characteristics) and quality (different height precision).

Techniques, similar to selective and progressive enhancement of data, play a very important role. This approach provides an alternative way to consider weights of sources, which are higher for denser data distribution. The processed results haven't been analysed very precisely, but some results were excellent although requiring considerable effort.

The method of weighted sum of sources is easier to employ. It is (raster) GIS-orientated. In this case interpolation methods are very important during the pre-processing and with respect of the nature of sources and the final DTM resolution. The final resolution chosen for the DTM was 20 m, and all data sources were interpolated to the selected resolution. Spline interpolation was appropriate for 'DMR 100' interpolation to a 20 m grid, because it provided high quality source. For 'DMR 25', bilinear interpolation was better, and for contour lines a LIDIC interpolation method with many improvements regarding basic method was applied. Improvements were necessary to enable interpolation in the situations where there were missing contour lines. The main advantage of the weighted sum of sources as a method is that it is a natural extension of statistical pre--processing. The principal steps to produce a DTM (DEM) with this method are:

- mosaicing to produce a basic DEM,
- 'parallel' weighted sum of secondary data,
- geomorphological correction,
- reference point consideration, and
- monitoring of result quality following the weighted sum of data.

A basic DEM was first constructed as a *mosaic* of sources. For this task, sources that cover Slovenia most homogeneously were chosen (contour lines GKB-relief, DMR 25 and DMR 100).

With *'parallel' weighted sum* other, secondary sources were included within DTM production. Most secondary sources were local. For production of weighted coverages for data sources, a method was used similar to that for systematic error elimination (chapter 7.4.2), a difference was that parameters for random errors were also taken into consideration. Higher weights were assigned locally to source with a lower random error and for every combination of sources calculating arithmetic mean with weights. Thresholds (vertical differences) were controlled for every grid cell by a combination of weighted coverages. If the distance was too large, the area was noted. Individual selected areas were tested with reference points (if they were available for these areas). Higher weights

were assigned to the areas to which reference points had lower absolute mean distances. If no reference points were available for a selected area, the area was considered to be of insufficient quality. With the 'parallel' weighted sum method, the reference points were included within some portion of the final DEM.

With 'parallel' weighted sum, the final DEM became a bit smoother than the original sources. *Geomorphological correction* of the DEM was then necessary. The geomorphological characteristics of statistically better sources were applied to the DEM. For that, a trend surface was produced with DEM generalisation. The same conditions of generalisation were applied for DEM and original source from which geomorphology had to be assigned. In the end the calculated difference between the trend of the source surface and the source were added to the trend of the DEM. With this correction a DEM was produced which was statistically insignificantly worse, but which was geomorphologically much improved.

Many *reference points* were available for testing, but they were also used for DEM quality improvement. With each step of the 'parallel' weighted sum, the terrain surface was closer to the reference points. To use reference points separately as the most accurate available data would be particularly sensitive on flat areas. It is very possible that with only a slight change of point height, geomorphology might be significantly and detrimentally changed. It was decided to use reference points only if they were within a mountainous area (with regard to regionalisation), if they were within the areas of sinks and peaks, if they were 1st order trigonometrical points, and if they were close to a hydrological network. Inclusion of points was carried out with a smoothing interpolation relating to their nearest neighbour.

During pre-processing and processing a terrain skeleton was produced. With this additional data, the DTM was produced from DEM 20. The 'parallel' weighted sum method was very practical with respect to the *monitoring of data quality*. For every source, systematic and random errors were calculated, and finally a theoretical quality of the DTM was produced which could be compared with actuality. Important secondary products included the derivation of areas defined as statistically poor or with undefined data quality. The processing result is also knowledge about predominant source used for every raster cell in DTM processing.

7.4.4 Managing with terrain data

A DTM will be more useful if it is efficiently managed. The same is true for data sources which can be used to generate a new DTM. For that reason, the following should be considered:

- posterior analyses of DTM quality,
- maintainance of sources and the DTM/DEM,
- maintainance of geodetic databases (as a 'secondary product' of DTM processing),
- organization of the DTM database.

Posterior visual and statistical analyses of quality are important for the improvement of the processed DTM. *Maintainance of sources* and the DTM could be periodic or when required. New and better sources should always be integrated. *Maintainance of geodetic databases* is also very important as a 'secondary product' of the DTM. Geodetic points

and registration of buildings, contour lines (GKB-relief and TBVN), and hydrological network (GKB-hidrografija and TBVN) can also be improved. The *Organization of the DTM database* involves the management of the entire system of data sources and processed DTMs. From the DTM database it should be possible to manage sources selected for DTM production. For every raster cell or vector point complete metadata, including quality should be available. Secondary products including terrain skeleton, contour lines, etc. should be managed within the DTM database.

7.4.5 Conclusions

The gradual progress of digital terrain modelling has been recorded over the last 40 years. This includes a broad suite of tools for managing, capturing, recording, updating, analysing, visualising, connecting and integrating data with other systems (for example to GIS because of its analytical capabilities, to CAD on account of its capability to pre--process for cartographic requirements, to satellite navigation systems for orientation and other purposes, and to systems suitable for remote sensing). Despite the fact that the basic principles of DTMs remain the same, new technologies are always being developed and many other factors are introduced which provide the opportunity to improved current models.

Effective DTM modelling from variable data is an iterative process. The methods described here are based on cognitive procedure for model determination, a process that cannot be achieved intuitively or via a single step. That means that experience from previous steps should be used in each of the following steps. Only data analyses and test methods used in the previous steps will provide a suitable starting-point for understanding data and will enable a better use of parameters for data testing and preparation. This process takes more time, but the procedure can rationally be finished in two steps, and these can be shown in a series of practical examples.

The base hypothesis of the thesis was confirmed with statistical and visual quality analyses for both proposed methods of DTM production. The results indicate statistically, geomorphologically and visually – a high quality and efficient DTM production in Slovenia, better than those currently used and present an expected average vertical precision of 3.5 m or better for the whole of Slovenia. An important additional product of this approach to DTMs are automatically produced contour lines, terrain skeletons and hillshading. Secondary products include acquisition of quality parameters and reduction of gross and systematic errors in geodetic databases.

A TESTNA OBMOČJA

Poskusi v sklopu disertacije so bili izvajani na več testnih območjih znotraj Slovenije. Začetni poskusi in analize so bile izvedeni na manjših značilnih območjih. Vsi najpomembnejši in zahtevni poskusi so bili izdelani na testnih območjih, kakršna so omogočala podobne operacije in simulirala take rezultate, kot če bi bili izvajani na vsem površju Slovenije. Nekateri numerično manj zahtevni, a pomembni poskusi pa so bili izvajani kar na območju celotne Slovenije.

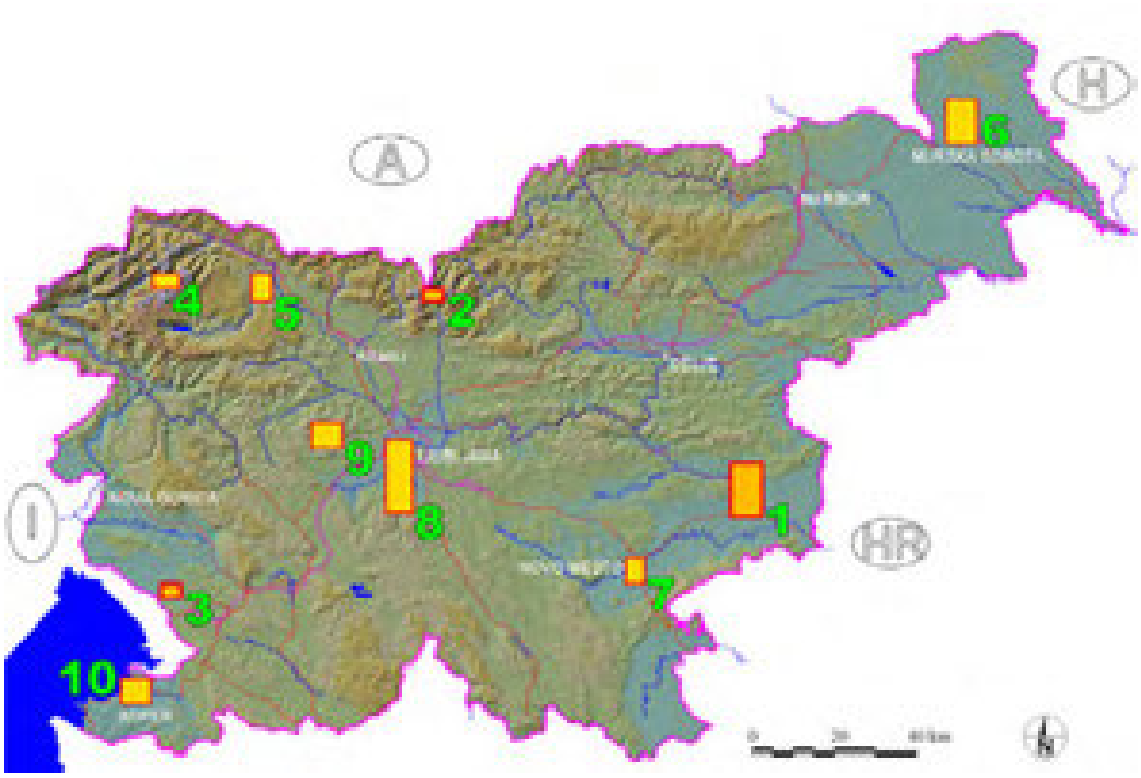
Omenjeni začetni poskusi so bili izvajani na prvih treh testnih območjih iz preglednice 15, ki pokrivajo 0,5 % Slovenije. Izbrana so bila po kriteriju geomorfološko čim bolj raznolikega in reprezentančnega reliefa. Naslednjih sedem območij je bilo določenih po različnih kriterijih, med katerimi so veljali za pomembnejše: razpoložljivi viri in predznanje o njihovi kakovosti, poraslost območja z vegetacijo ter razne značilnosti reliefa, kot je npr. jezero z otokom, obala morja ipd. Posameznim območjem, v preglednici podanih s koordinatami, je bila pri nekaterih testih dodana ovojnica oz. okvir na razdalji 300 m navzven. Na tak način robni pogoji območij niso vplivali na rezultate testiranja. Skupna površina vseh desetih izbranih testnih območij pokriva nekaj nad 2 % Slovenije. V oklepajih so pri velikostih območij navedene tudi dimenzije prvotnih, na katerih so bili napravljeni nekateri začetni poskusi.

Interno ime območja	Min.; maks. območja (y, x) [m]	Velikost območja (y, x) [m]	TTN 5 (oznake)	DTK 25 (oznake)	Zakaj izbrano?
Krško /1/	535.000, 85.000; 542.000, 96.000	7000, 11.000 (11.250, 18.000)	Krško 16, 17, 18, 19, 20, 26, 27, 28, 29, 30, 36, 37, 38, 39, 40, 46, 47, 48, 49, 50; Kostanjevica 6, 7, 8, 9, 10, 16, 17, 18, 19, 20	Senovo 123, Kozje 124, Krško 142, Brežice 143, Kostanjevica 160, Bušeča vas 161	griči, ravnina, korito reke Save z naplavinami
Alpe /2/	466.250, 133.000; 470.750, 136.000	4500, 3000	Jezersko 36, 37	Kamniška Bistrica 73, Luče 74	alpski relief

Interno ime območja	Min.; maks. območja (*y*, *x*) [m]	Min.; maks. območja (*y*, *x*) [m]	TTN 5 (oznake)	DTK 25 (oznake)	Zakaj izbrano?
Kras /3/	407.750, 67.000; 412.250, 70.000	4500, 3000	Dutovlje 10, Sežana 1	Branik 147, Vipava 148, Sežana 163, Divača 164	kraško
Triglav /4/	406.000, 136.000; 412.000, 139.000	6000, 3000 (24.750, 15.000)	Bovec (vse karte); Bled 1, 11 21, 31, 41	Log pod Mangartom 39, Rateče 40, Kranjska Gora 41, Bovec 65, Soča 66, Ukanc 67	CBPS, sega malo čez mejo
Bled /5/	428.000, 133.000; 432.500, 139.000	4500, 6000	Bled 29, 30, 39, 40	Jesenice 43, Vrba 44, Bled 69, Radovljica 70	problem jezera
Prekmurje /6/	583.000, 168.000; 590.000, 178.000	7.000, 10.000 (15.750, 18.000)	Mačkovci 47, 48, 49, 50; Šalovci 41, 42, 43; Radgona 7, 8, 9, 10, 17, 18, 19, 20, 27, 28, 29, 30, 37, 38, 39, 40, 47, 48, 49, 50; Turinšče 1, 2, 3, 11, 12, 13, 21, 22, 23, 31, 32, 33, 41, 42, 43	Radenci 16, Murska Sobota 17, Turnišče 18, Bučkovci 34, Ljutomer 35, Črešnovci 36	veliko podatkov o ZK-točkah
Novo mesto /7/	511.500, 70.000; 515.750, 76.000	4250, 6000 (6750, 6000)	Novo mesto 35, 36, 37, 45, 46, 47	Dolenjske Toplice 157, Novo mesto 158	veliko podatkov o CBPS
Krim /8/	458.000, 86.000; 464.000, 102.000	6000, 16.000 (9000, 18.000)	Ljubljana-S 42, 43, 44; Ljubljana-J 2, 3, 4, 12, 13, 14, 22, 23, 24, 32, 33, 34, 42, 43, 44	Brezovica pri Ljubljani 115, Ljubljana 116, Rakitna 134, Ig 135	MC simulacije (Podobnikar 1998a) kombinacija dobrih in slabih podatkov
Polhov Gradec /9/	441.500, 100.000; 448.250, 106.000	6750, 6000	Škofja Loka 35, 36, 37, 45, 46, 47	Lučine 113, Polhov Gradec 114	dobro poznavanje dejanskega reliefa
Koper /10/	398.750, 43.000; 405.500, 49.000	6750, 6000	Koper 26, 27, 28 36, 37, 38	Koper 178, Dekani 179	obala, zelo urbano

Preglednica 15: Testna območja za izdelavo DMR Slovenije.

Slika 69 prikazuje deset izbranih testnih območij pri izdelavi DMR Slovenije. Označena so s številkami, ki se nanašajo na oštevilčenje v preglednici 15.



Slika 69: Testna območja za izdelavo DMR Slovenije.

B SAMODEJNE REGIONALIZACIJE SLOVENIJE

Dodatek o samodejnih regionalizacijah Slovenije je namenjen predvsem kot dopolnilo istoimenskega razdelka 5.2.1. V prvem delu dodatka gre za podrobnejši opis priprave normiranih podatkovnih slojev posameznih spremenljivk, v drugem pa za modeliranje regionalizacij iz njih.

B.1 SPREMENLJIVKE REGIONALIZACIJ

Spremenljivke regionalizacij so obravnavane kot podrobnejši opis razdelka 5.2.1.1. V posameznih naslovih podrazdelkov so v oklepajih označena enočrkovna imena spremenljivk. V preglednici 16 so navedeni viri za izdelavo podatkovnih slojev spremenljivk z navedenimi najpomembnejšimi opisnimi parametri, pomembni za učinkovito izvedbo regionalizacij Slovenije.

B.1.1 Spremenljivka razgibanosti površja (*R*)

Razgibanost površja *R* lahko opišemo z zelo zapletenimi parametri (glej npr. *CUPT* 2000). Za podporo disertaciji jo relativno enostavno in primerno izračunamo kot kombinacijo slojev delnih spremenljivk razgibanosti površja, in sicer *naklonov N*, *ukrivljenosti U* in *nadmorskih višin V*. Koeficient razgibanosti površja je zelo podoben izračunu lokalne avtokorelacije površja (to velja predvsem za delno spremenljivko ukrivljenosti površja), ki bi jo lahko uporabili kot dober približek. Razgibanost površja *R* izračunamo po formuli

$$R = N \cdot u_1 + U \cdot u_2 + V \cdot u_3 \qquad \text{(B-1)}$$

kjer so u_1, u_2 in u_3 utežni deleži vseh treh slojev delnih spremenljivk. Ob predpostavki, da imajo vse delne spremenljivke enakovreden vpliv na želeno regionalizacijo, jih utežimo enakovredno. V našem primeru z vrednostmi $u_i = 1/3$ ter nato normiramo *R* na interval [0, 100]. Na tak način smo dosegli, da ima spremenljivka razgibanosti površja *R* precej visoke vrednosti tudi na relativno ravnem površju in hkrati precej ukrivljenim na mikro ravni (z visoko relativno razgibanostjo). Poleg tega njena vrednost raste z nadmorsko višino. Izračun posameznih delnih spremenljivk je naveden v dodatkih B.1.1.1, B.1.1.2 in B.1.1.3.

Oznaka vira	Oznaka spremen.	Lastnik	Leto izdel./ zadnje obn.	Topološki tip	Merilo/ ločljivost	Izvor
refDMV	*R*, *N*, *U*, *V*	interni DMV za poseben namen, 2000	1973–2000	cel. mreža	20 m	GKB-relief, DMR 25, DMR 100, DMR 10, Lj
Metalogenetska karta SRS	*K*	Geol. z. Lj., Raz. sk. Sl.,	1980 in prej	poligon	1 : 220.000 /100 m	–
Vegetacijska karta	*G*, *P*	ZRC SAZU, 2000	1992, 1996	cel. mreža	30 m	Landsat TM
GKB-relief	*O*, L_i	GU	1994–1997/ redno	črta	1 : 25.000	klasično in fotogram.
GKB-hidrografija (točke)	*H*	GU	1994–1997/ redno	točka	1 : 25.000	klasično in fotogram.
GKB-hidrografija (rečna mreža)	*H*	GU	1994–1997/ redno	črta	1 : 25.000	klasično in fotogram.
GKB-hidrografija (stoječe vode)	*S*	GU	1994–1997/ redno	poligon	1 : 25.000	klasično in fotogram.
GKB-ceste (cestna mreža)	*T*	GU	1994–1997/ redno	črta	1 : 25.000	klasično in fotogram.
GKB-železnice (železn. mreža)	*T*	GU	1994–1997/ redno	črta	1 : 25.000	klasično in fotogram.
GKB-železnice (postajališča)	*S*	GU	1994–1997/ redno	poligon	1 : 25.000	klasično in fotogram.
Podatki o izvajalcih	*I*	GU	2000	poligon	1 : 5000	TTN 5

Preglednica 16: Viri za pripravo spremenljivk regionalizacij Slovenije.

Nekoliko drugačna je metoda klasifikacije razgibanosti površja za izračun t. i. *umerjenega koeficienta razgibanosti površja* (Hrvatin in Perko 2000b), ki se je v konkretnem primeru izkazala za manj primerno. Rezultat te metode je koeficient horizontalne in vertikalne razgibanosti površja. Zasnovan je podobno kot pri prej omenjenem algoritmu, torej na izračunu lokalne avtokorelacije v območju oken velikosti 3 krat 3 mrežnih celic. Namesto naklona se izračuna variabilnost nadmorske višine s kvocientom med standardnim odklonom vrednosti nadmorskih višin v danem oknu in povprečno nadmorsko višino Slovenije. Namesto ukrivljenosti površja se izračuna kvocient med standardnim odklonom vrednosti naklona v danem oknu in povprečno vrednostjo naklona površja Slovenije. Za koeficient razgibanosti se izračuna geometrično sredino obeh delnih rezultatov (indikatorjev razgibanosti). Pri tem dobimo npr. podobno visoko vrednost razgibanosti za območja Alp kot za območja Haloz, kjer dejansko ni zelo velikih naklonov reliefa, so pa zelo izrazite lokalne razlike naklonov. Rezultati omenjenega algoritma so še nekoliko bolj občutljivi na razgibanost površja kot *R* (enačba B-1). To se izkaže predvsem pri primerjavi delovanja algoritma na refDMV glede na DMR 100. Pri DMR 100 se namreč ta algoritem bolje izkaže kot pri refDMV, in sicer zaradi manjše prostorske ločljivosti in s tem manjše občutljivosti na razgibanost površja.

Ob tem velja omeniti klasifikacijo razgibanosti okolice referenčnih geodetskih točk, ki so jo glede na DMR 100 izračunali na IGF za izračun kakovosti DMR 100 (Radovan et al. 1994b). Razgibanost so določili z upoštevanjem lokalne amplitude, frekvence hribov

in dolin (ter z upoštevanjem oddaljenosti položaja geodetskih točk od vogala pripadajoče mrežne celice) na območju 36 točk okolice posamezne geodetske točke. Posamezne geodetske točke so klasificirali v tri kakovostne razrede.

B.1.1.1 Spremenljivka naklonov površja (*N*)

Ploskev oz. spremenljivko naklonov površja *N* štejemo za delno spremenljivko razgibanosti površja. Tangens naklonskega kota α površja predstavimo na splošno kot prvi odvod ploskve površja (Burrough 1986, 50) in ga izračunamo kot

$$\text{naklon}_x = \text{tg}\alpha = \frac{dH}{dx} \tag{B-2}$$

kjer je *H* višina, *x* (ali *y*) pa ustrezna horizontalna razdalja v ravninskem kartezičnem koordinatnem sistemu. Parametra *dx* in *dy*, ki imata ponavadi enako vrednost, predstavljata ločljivost celične mreže in *dH* naklon posamezne mrežne celice. Splošnejša formula za izračun naklona površja glede na ravnino *xy* je:

$$\text{naklon}_{xy} = \text{tg}\alpha_1 = \sqrt{\left(\frac{dH}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dH}{dy}\right)^2} \tag{B-3}$$

Naklon površja iz danega DMV (celične mreže) izračunamo največkrat z uporabo lokalnega okna velikosti 3 krat 3 mrežne celice. Posamezne celice lokalnega okna označimo z vrednostmi *a*, *b*, ..., *i*:

a	*b*	*c*
d	*e*	*f*
g	*h*	*i*

Znanih je več numeričnih metod za izračun naklona površja na osnovi lokalnega okna. V našem primeru smo uporabili naslednji algoritem (Burrough 1986, 50)

$$\begin{aligned} \frac{dH}{dx} &= \frac{(a+2d+g)-(c+2f+i)}{8\cdot dx} \\ \frac{dH}{dy} &= \frac{(a+2b+c)-(g+2h+i)}{8\cdot dy} \end{aligned} \tag{B-4}$$

in po formuli B-3 izračunali naklonske kote površja α_1 pri uporabi refDMV za vsako mrežno celico. Normirana spremenljivka naklonov površja *N* je bila izračunana po formuli

$$N = \text{th}\left(\alpha_1\right)\cdot 100 \tag{B-5}$$

Uporabljena je bila funkcija *tangens hiperbolikus* (th) namesto *tangens*, ki je odlična za normiranje vrednosti kotov naklonov in ukrivljenosti površja na interval [0, 1], saj je pri nizkih vrednostih skorajda identična funkciji tangens, pri višjih pa se približa vrednosti 1 namesto ∞.

B.1.1.2 Spremenljivka ukrivljenosti površja (*U*)

Delna spremenljivka razgibanosti, ukrivljenost površja *U*, je bila izračunana kot drugi odvod ploskve površja iz refDMV. Dejansko gre za izračun naklona od naklona ploskve

površja α_2. Tudi v tem primeru obstaja več algoritmov za izračun, pri čemer pozitivne vrednosti rezultatov v večini primerov pomenijo konkavnost (izbočenost – hribi, grebeni) ter negativne konveksnost (vbočenost – vrtače, doline) površja. Poznamo precej algoritmov za izračun ukrivljenosti na osnovi celične mreže. Spremenljivka ukrivljenosti *U* je bila v našem primeru enostavno izračunana kot nakloni od naklonov površja po načelu za izračun ploskve naklonov površja (B-4), s formulo

$$U = \mathrm{th}\,(\alpha_2) \cdot 100 \qquad \text{(B-6)}$$

kjer je α_2 sprememba naklona ploskve reliefa v radianih ali ukrivljenost. Zanimivo bi bilo preučiti tudi, koliko je na konkavnih (izbočenih) območjih mikrorazgibanost površja večja kot na konveksnih (vbočenih).

B.1.1.3 Spremenljivka nadmorskih višin površja (*V*)

Ploskev nadmorskih višin je bila linearno normirana glede na refDMV, na vrednosti intervala [0, 100], v spremenljivko nadmorskih višin površja *V*. Pri tem so bile nadmorskim višinam 0 m pripisane vrednosti 0, najvišji točki v Sloveniji, Triglavu (2864 m) pa vrednost 100. Vse morebitne nadmorske višine v okolici Slovenije z nadmorsko višino višjo od Triglava, bi v tem primeru prav tako dobile vrednost 100.

B.1.2 Spremenljivka zakraselosti površja (*K*)

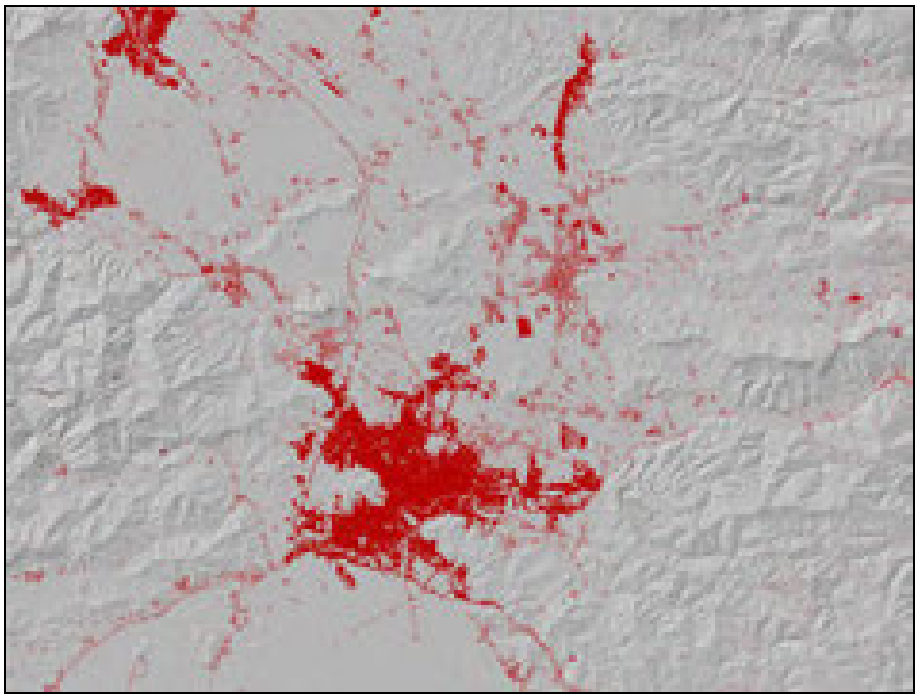
Za ponazoritev zakraselosti *K* je bila uporabljena digitalizirana metalogenetska karta SRS, napravljena leta 1980 v merilu 1 : 220.000, z ločljivostjo celične mreže 100 m. Med zakrasela območja štejemo večino karbonatnih usedlin, med katerimi izbiramo: paleocenske in eocenske, kredne ter jurske in triadne plasti. Na izbranih območjih se lahko pojavljajo vrtače ali druga območja brez površinskega odtoka. Omenjena območja sem preklasificiral v vrednost 100 (zakraselost), vsa druga pa v 0 (nezakraselost) ter sloj imenoval *K*. Mimogrede, glede na spremenljivko zakraselosti površja je okoli polovico (oz. nekaj več) Slovenije potencialno zakrasele.

B.1.3 Spremenljivka poraslosti površja (*G*)

Za spremenljivko poraslosti *G* je bil uporabljen sloj klasifikacije vegetacije, izdelan iz satelitskih posnetkov Landsat TM (Oštir et al. 2000b). Grmičevje je bilo klasificirano z vrednostjo 50, listnat gozd s 60, mešan z 80 in smrekov s 100. Vse druge vrednosti 'odprtih območij' (urbano, vodne površine, kmetijske površine ipd.) so bile klasificirane z 0.

B.1.4 Spremenljivka poseljenosti (*P*)

Kot v prejšnjem primeru, je bil tudi za spremenljivko poseljenosti *P* uporabljen sloj klasificiranih satelitskih posnetkov Landsat TM (Oštir et al. 2000b). Urbanizirane površine so dobile vrednosti 80, gosto pozidana območja pa 100 (slika 70). Vse druge površine so dobile vrednost 0. Spremenljivka *P* upošteva predvsem dejstvo, da so urbanizirani okoliši zelo aktualni za izdelavo natančnih DMR. Ko bo za vso Slovenijo izdelan CBPS, bo iz njega smiselno izdelati boljši sloj za spremenljivko *P*.



Slika 70: Spremenljivka poseljenosti *P* za območje Ljubljane. Svetlo rdeča območja so urbanizirane površine, temno rdeča pa gosto pozidane. Območje meri 40 krat 30 km, za ozadje so prikazane sence reliefa.

B.1.5 Spremenljivka značilnih območij (*O*)

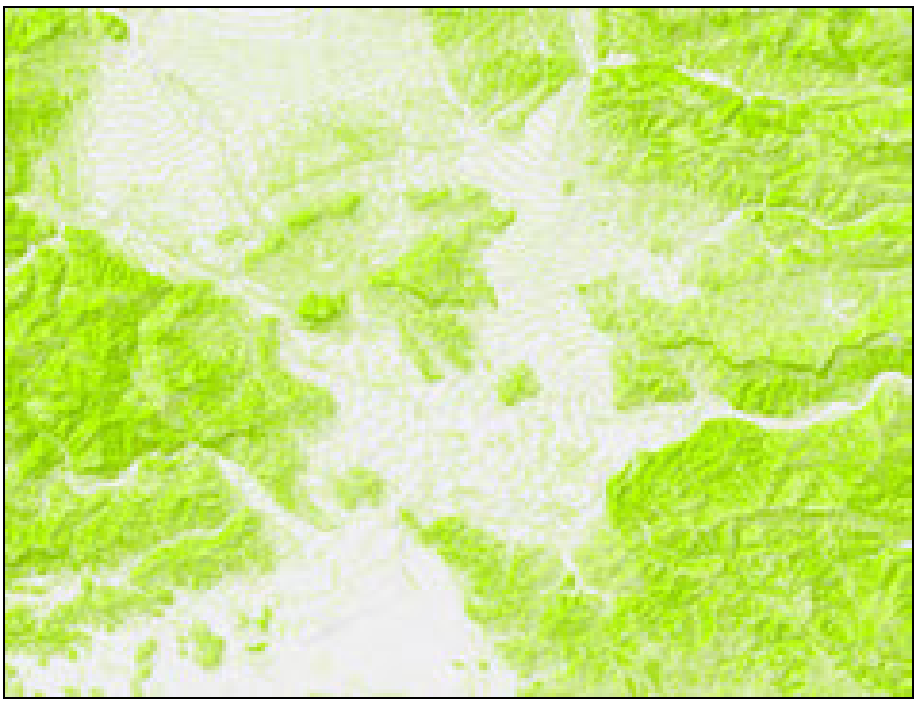
Spremenljivko značilnih območij *O* sestavljajo območja vrhov, vrtač, sedel, grebenov in dolin. Določitev spremenljivke se naslanja na s čim bolj točno metodo interpoliran sloj plastnic, v našem primeru na GKB-relief. Za določitev je bila uporabljena kombinacija modificiranih metod LIDIC in SIFI. Osnovni koraki precej zapletenega algoritma, ki sem ga razvil, so opisani v razdelku 4.4.3.4. Med grebene in doline bi lahko šteli tudi rahlo konveksna in konkavna območja (Dupéret 2000), vendar smo se želeli omejiti le na ožja območja značilnih črt, kot najbolj izrazitih značilnosti.

Sloj *O* ima naslednje vrednosti (določene glede vpliva na kakovost virov): doline 20, grebeni 30, vrhovi 90 in vrtače 100. Glede na izračun značilnosti *O* pri uporabi plastnic GKB-reliefa, je bila spremenljivka *O* obrezana na območjih gora, kjer ni bilo na razpolago plastnic ter zaradi premajhne izrazitosti značilnih območij, tudi na območjih ravnin (pri upoštevanju regionalizacije RR).

B.1.6 Spremenljivka gostote virov (*L*)

Pri določitvi spremenljivke gostote virov *L* gre za geografsko razmejitev območij posameznih slojev virov za modeliranje DMR in za hkratno ovrednotenje njihove gostote. Za posamezna območja slojev potencialnih virov so bile najprej izračunane delne spremenljivke gostote vseh potencialnih podatkov L_i. Na tako dobljenih spremenljivkah L_i lahko izvajamo analize točkovnih porazdelitev (Podobnikar 1998a). Najbolj nas je zanimala frekvenca posameznih virov glede na posamezno mrežno celico vnaprej določene velikosti (kvadrant), torej gostota podatkov za večje območje ter njihovo pojavljanje v posameznih kvadrantih.

Spremenljivke L_i so bile izračunane po isti metodi iz virov v obliki DMV kot iz virov s točkovno topologijo. Zaradi poenotenja so bili podatki posameznih mrežnih celic obravnavani kot točke. Pri tem je bila gostota (frekvenca pojavljanja) izračunana glede na posamezne kvadratke celične mreže 100 krat 100 m. Večja vrednost je pomenila večjo gostoto. Za podatke črt, kot so plastnice, je bila izračunana njihova skupna dolžina v metrih glede na posamezen kvadratek dimenzij 100 krat 100 m (slika 71). Zaradi boljše primerjave z gostoto točk je bila za eno enoto gostote črt upoštevanih 10 m plastnic. Višja dobljena vrednost pomeni višjo gostoto. Celice, ki niso vsebovale točk ali vsaj 5 m črt plastnic, so dobile vrednost 0.



Slika 71: Delna spremenljivka gostote plastnic GKB–reliefa – L_i za območje Ljubljane. Na temnejše zelenih območjih so plastnice gostejše (do 12 dolžinskih kilometrov na hektar). Prikazano območje meri 40 krat 30 km, za ozadje so prikazane sence reliefa.

B.1.7 Spremenljivka rečne mreže (*H*)

Spremenljivka rečne mreže *H* je bila izračunana na podlagi vektorskega sloja GKB--hidrografije (črte rečne mreže in točke slapov ali jezov) in rastrirana z ločljivostjo 20 m. Glede na sloj rečne mreže so bili za ovrednotenje ločeni vodotoki ožji od 5 m in širši od 5 m. Ožji od 5 m so dobili vrednost 50, širši pa vrednost 100. Vodotoki, širši od 5 m so dobili na območjih okolice ene mrežne celice vrednost 50 ter za celice oddaljenosti 28 m vrednost 15. Podobno so bili rastrirani tudi točkovni objekti in jim pripisane vrednosti 100, okoliškim štirim celicam vrednost 30 ter 28 m oddaljenim celicam vrednost 10. Enostavno so bile rastrirane tudi širše reke, označene kot območja (poligoni), in sicer z vrednostmi 10. Na koncu so bili sloji delnih spremenljivk vodotokov, ožjih od 5 m in širših od 5 m, pomnoženi s slojema slapov in jezov. Pri tako dobljeni spremenljivki *H* je bil upoštevan še sloj širših rek. Pri tem je bila upoštevana najvišja vrednost spremenljivke v posamezni celici. Spremenljivka *H* dobro ponazarja dejstvo, da je zaradi nenehnega spreminjanja toka DMV okoli rečne struge zelo slabo definiran. Poleg te-

ga pride na omenjenih območjih do zelo izrazitih ukrivljenosti površja. Sloj pa je uporaben tudi pri hidroloških analizah.

B.1.8 Spremenljivka stoječih voda in drugih ravnih površin (*S*)

Spremenljivka stoječih voda in drugih ravnih površin *S* je bila izračunana iz vektorskih slojev GKB-hidrografije (območja stoječih voda) in GKB-železnic (območja postajališč). Oba sloja sta bila rastrirana z ločljivostjo 20 m. Sloj stoječih voda je bil preklasificiran v vrednosti 0 za območja brez morja, otokov ter širših rek, označenih kot območja (poligoni) ter v vrednosti 100 za druge površine. Tudi sloj železniških postajališč je bil podobno kot sloj stoječih voda privzet za zelo ravne površine. Pripisane so mu bile vrednosti 50 ter vsem drugim površinam vrednosti 100. Obe delni spremenljivki sta bili prekriti pri upoštevanju najmanjše vrednosti spremenljivke glede na posamezno mrežno celico. V tako dobljen sloj *S* bi lahko vključili tudi druge nadpovprečno ravne površine. Pri tem gre predvsem za antropogene površine, kot so letališča – vzletne steze in mestni trgi. Spremenljivka *S* je predvsem uporabna pri modeliranju poudarjanja nekaterih površin kot zelo ravnih.

B.1.9 Spremenljivka transportne mreže (*T*)

Spremenljivka transportne mreže *T* je bila pripravljena podobno kot spremenljivka *H*. Uporabljena sta bila vektorska sloja GKB-cest (cestna mreža) ter GKB-železnic (železniške proge). Oba sta bila rastrirana z ločljivostjo 20 m. Iz sloja cest so bili izločeni mostovi in predori, saj omenjeni elementi ne vplivajo na oblikovanost površja, z izjemo vhodov in izhodov iz predorov. Izločeni so bili tudi kolovozi ter druge poti in steze, s čimer je bil zanemarjen njihov vpliv na model reliefa. Avtocestam, pri katerih sta vozna pasova označena z ločenima črtama, so bile pripisane vrednosti 70, 20 m oddaljenim celicam vrednost 100 in 28 m oddaljenim vrednost 80. Pri tem sem predpostavil, da os avtoceste manj vpliva na spremembo modela reliefa kot njeni robovi. Rastriranemu sloju drugih cest so bile pripisane vrednosti 60.

Podobno je bil pripravljen tudi za sloj železniških prog (odstranitev podatkov mostov ter predorov). Dvotirne proge so v sloju GKB-železnic označene z eno črto. Pripisana jim je bila vrednost 45, 20 m oddaljenim 60 ter 28 m oddaljenim celicam vrednost 25. Enotirne proge so dobile vrednost 40. Vse štiri delne spremenljivke: avtoceste, druge ceste, dvotirne in enotirne železniške proge so bile sestavljene v spremenljivko transportne mreže *T* pri upoštevanju največje vrednosti spremenljivke v posamezni mrežni celici.

Glede na to, da je kakovost virov najslabša v okolici transportne mreže na najbolj razgibanih in strmih območjih, bi bilo za izboljšavo sloja *T* smiselno upoštevati tudi omenjena dejavnika v smislu dinamične definicije širine vplivnega območja. Spremenljivka transportne mreže *T* je uporabna predvsem za poudarjanje površin nasipov in usekov okolice cest in železnic kot zelo ukrivljenih. Za izdelavo natančnejšega DMR bi jo bilo treba uporabiti predvsem pri ažuriranju glede na novogradnje transportne mreže.

B.1.10 Spremenljivka podatkov o delu izvajalcev (*I*)

Spremenljivko podatkov o izvajalcih *I* uporabljamo predvsem takrat, ko lokalno dobro poznamo metode, ki jih je uporabljal posamezen izvajalec pri izdelavi vira, ter kadar

imamo na razpolago zanesljive primerjalne teste podatkov glede na izvajalce. Najbolj bi bila ta spremenljivka uporabna v primeru ovrednotenja kakovosti DMR 100, ki so ga precej časa izdelovali različni izvajalci z različnimi metodami. Vendar v tem primeru podatki o izvajalcih niso na razpolago. Spremenljivka *I* pa je bila uporabljena za ovrednotenje podatkov DMR 25, za katerega so bili izvajalci znani – določeni glede na območja kart TTN 5. Izločeni so bili podatki tistih izvajalcev, za katere je bilo ugotovljeno, da ne ustrezajo pogojem, postavljenim pri izdelavi DMR.

B.2 REGIONALIZACIJE

Posamezne samodejne regionalizacije uporabljajo pred tem opisane spremenljivke za izdelavo slojev, uporabljenih pri modeliranju DMR. V tem dodatku so obravnavane kot podrobnejši opis razdelka 5.2.1.2. V posameznih naslovih podpoglavij so v oklepajih označena dvočrkovna imena regionalizacij.

B.2.1 Spremljanje kakovosti

Regionalizacije za spremljanje kakovosti se nanašajo na pripravo geomorfološko homogenih območij za učinkovito izvajanje zastavljenih nalog. Uporabljene so bile za ovrednotenje kakovosti in odpravo napak podatkov pri predobdelavi ter obdelavi DMR.

B.2.1.1 Sloji standardnih območij za kontrolo kakovosti (RR, RN, RO, RG, RI)

Razgibanost površja (RR)

Za pripravo sloja razgibanosti RR je bila uporabljena spremenljivka razgibanosti površja *R* (dodatek B.1.1) Uporabili bi lahko tudi spremenljivko zakraselosti *K*, saj je na kraških območjih razgibanost površja še nekoliko večja, kot se odraža na refDMV. Na žalost pa je bila spremenljivka *K* napravljena iz premalo kakovostnih virov.

Podatki spremenljivke *R* so bili klasificirani v štiri kategorije razgibanosti (ravnine, gričevja, hribovja in gorovja, z vrednostmi 1 od 4). Pri tem je bil uporabljen filter za eliminiranje klasificiranih območij z zelo majhno površino (angl. majority filter). Filter deluje tako, da v lokalnem oknu 3 krat 3 celice (ali večjem) ovrednoti vrednosti posameznih mrežnih celic in srednji vrednosti pripiše največkrat zastopano. Nadalje so bila izločena zelo majhna območja preveč lokalne narave, ki so v večini primerov kvarila klasifikacijo. Z opisanimi postopki sem dobil bolj gladko in homogeno (generalizirano) ploskev (slika 72).

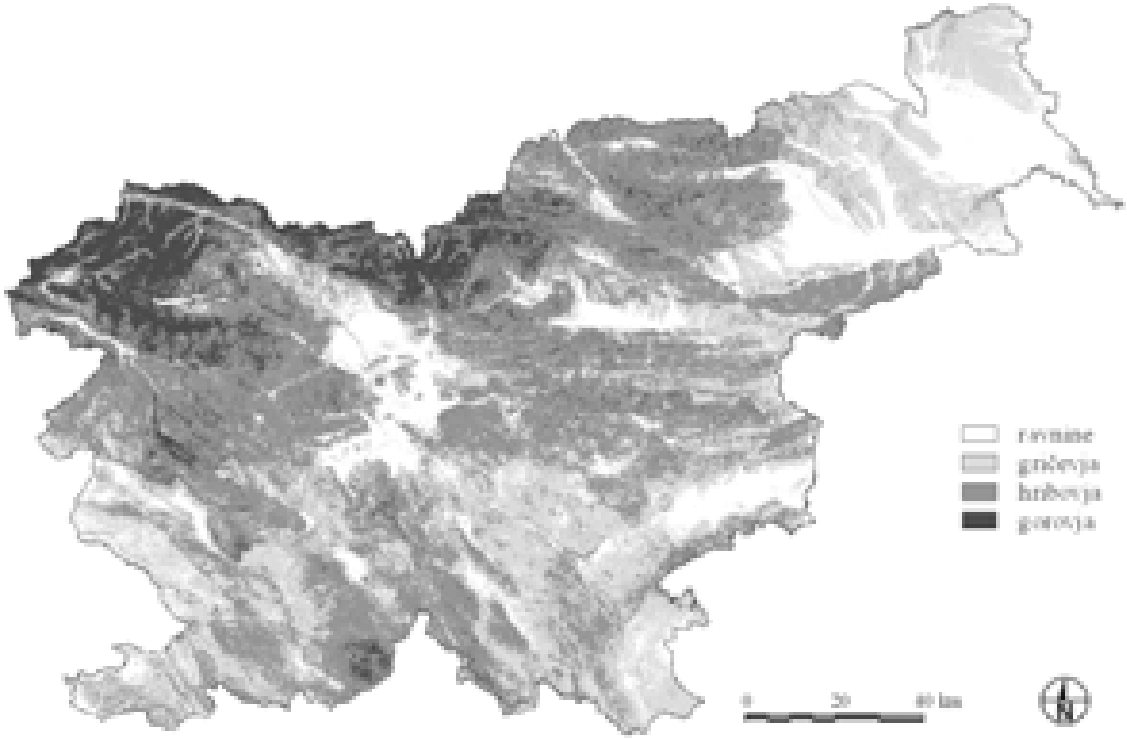
Nakloni površja (RN)

Regionalizacija glede na naklon površja RN je bila izvedena s preklasifikacijo spremenljivke *N* v tri kategorije: 0°–5°/5°–20°/>20° (glej dodatek B.1.1.1), z odgovarjajočimi oznakami razredov od 1 do 3. Navedeni razredi so izbrani empirično, sicer pa se na področju geografije uporabljajo razredi z mejami 0°, 2°, 6°, 12°, 20°, 30° in 40°.

Značilna območja (RO)

Regionalizacija na značilna območja RO vrhov (1), vrtač (–1), sedel (0), grebenov (2) in dolin (–2) je opisana pri izdelavi spremenljivke *O* (glej dodatek B.1.5). Dejansko je bila

po obratni poti, iz regionalizacije RO, pripravljena spremenljivka *O*. Sloj regionalizacije je bil spreminjan glede na različne potrebe izdelave DMR. Med drugim se je izkazalo, da so območja RO neprimerna za odpravljanje sistematskih napak virov na območju nižin ipd.



Slika 72: Regionalizacija Slovenije na kompleksne geografske enote ravnin, gričevij, hribovij in gorovij.

Poraslost površja (RG)

Za regionalizacijo poraslosti površja RG je bila uporabljena spremenljivka poraslosti površja *G*. Pri tem so bila določena standardna »binarna« območja negozd/gozd. Za 'negozd' so bile privzeta odprta območja in grmičevja ter označena z 0, za 'gozd' pa listnati, mešani in smrekovi gozdov ter označeni z 1. Kot zanimivost velja omeniti, da uporabljajo podobno klasifikacijo pri ovrednotenju širjenja elektromagnetnega valovanja za telekomunikacijske namene.

Izvajalci (RI)

Regionalizacija glede na izvajalce RI je bila izvedena s spremenljivko o delu izvajalcev *I*, vendar le za DMR 25. Območja posameznih izvajalcev so bila kodirana z vrednostmi od 1 do 4.

B.2.1.2 Sloj zahtevane kakovosti DMR (RZ)

Spremenljivke, pomembne za določitev območij zahtevane natančnosti RZ, so največkrat: poseljenost *P*, transportna mreža *T*, gostota podatkov *L*, lahko pa tudi vse druge, v odvisnosti od njihove pomembnosti glede na subjektivno postavljene pogoje naročnika in uporabnikov (glej razdelek 5.5.2.4). Regionalizacija RZ ni bila praktično izvedena.

B.2.1.3 Sloji za statistično oceno natančnosti/točnosti virov in DMR (RU, RS_i, RV_i)

Sloji za statistično oceno natančnosti oz. točnosti so podrobneje obravnavani v dodatku B.2.2.1. Pri ugotavljanju grobih napak točk je bil uporabljen sloj RU, za odpravljanje sistematskih napakah virov in DMR sloji RS_i ter pri ugotavljanju naključnih napak virov in DMR sloji RV_i. Vrednost natančnosti/točnosti 0,5 m je bila privzeta za vse obravnavane točke in shranjena za vsako vektorsko podano točko posebej. Sloji RS_i in RV_i so bili shranjeni v obliki celične mreže. Kot metapodatek je bil zabeležen tudi datum vnosa in (ali) zadnjega popravka nadmorske višine za DMR Slovenije. Omenjen podatek je bil pripisan posameznim točkam in posameznim mrežnim celicam. Podrobnejši parametri statistične ocene so navedeni v razdelkih 5.3.1 in 4.5.2.

B.2.1.4 Sloji deležev virov (RA_i) in sloj prevladujočih virov v DMR (RA)

Sloji deležev posameznih virov RA_i pri izdelavi DMR so bili izračunani v sklopu metode utežnega seštevanja virov med procesom izdelave DMR. Sloj prevladujočih virov RA je bil pri izdelavi DMR izdelan s preklasifikacijo posameznih slojev RA_i. Pri tem se je sloju pripisala koda, ki je predstavljala sloj z največjim deležem uporabe pri obdelavi DMR (glej razdelek 5.4.2.5).

B.2.1.5 Sloja območij nezadostne (RP_1) in empirično nedoločljive kakovosti (RP_2)

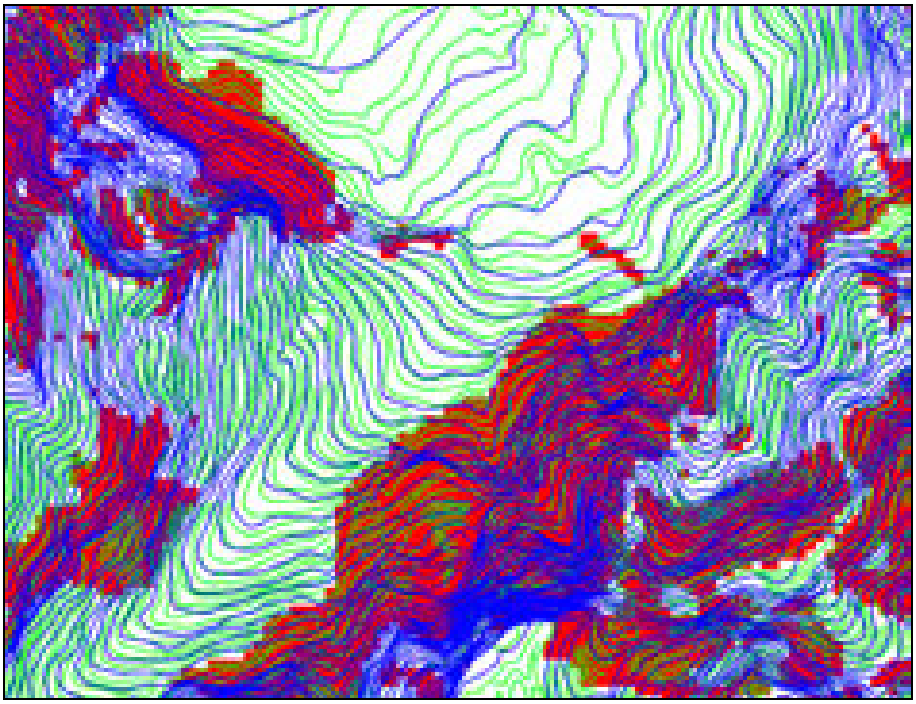
Območja *nezadostne kakovosti* RP_1 so bila določena v primerih, ko so bili hkrati izpolnjeni naslednji pogoji (glej tudi razdelka 5.3.1.4 in 5.4.2.2):

- da se na določenem območju prekrivata vsaj dva sloja;
- da je absolutna razlika vrednosti slojev RV_i med predhodnim in na novo vključenim sekundarnim slojem večja od trikratnega standardnega odklona, izračunanega po enačbi 5-6;
- da ni na dobljenih območjih na razpolago nobene referenčne točke za ovrednotenje kakovosti.

Določitev nezadostne kakovosti je dodatno odvisna tudi od zahtevane kakovosti RZ (dodatek B.2.1.2), ki se največkrat odraža v zgoraj navedenih alinejah. Glede na to, da je bilo pri ugotavljanju nezadostne kakovosti sukcesivno primerjano več prekrivajočih se sekundarnih virov, so bila na koncu za območja nezadostne kakovosti privzeta tista, ki so zavzela najmanjšo primerjalno površino. S takim postopkom se dobljena območja pri dodajanju vedno novejših in natančnejših slojev lahko le zmanjšujejo. Slika 73 prikazuje manjši del testnega območja Triglava /4/, pri čemer so z rdečo označena območja nezadostne kakovosti RP_1 pri upoštevanju TTN 5 glede na predhodno izdelan DMR. Na prikazu so za primerjavo dodane plastnice (ker so igrale najpomembnejšo vlogo pri določanju območij), in sicer zelene za GKB-relief ter modre za TTN 5. Dobro se vidi, da se plastnice na označenih območjih tudi geomorfološko ne ujemajo. V takih primerih je bila kot optimalna rešitev izračunana utežna sredina slojev ter privzete geomorfološke lastnosti lokalno statistično boljšega sloja.

Mesta, na katerih ni bilo na razpolago prekrivajočih se sekundarnih slojev, štejemo med območja *empirično nedoločljive kakovosti* oz. natančnosti RP_2. V takih primerih je bil za izdelavo DMR uporabljen le en (edini) sloj, kakovost pa je bila lahko ocenjena anali-

tično oz. glede na primerljiva območja. Pri tem opisujeta kakovost primerljivih območij tudi skupini slojev $\underline{RS}_i$ in $\underline{RV}_i$. Za določitev nedoločljivih območij bi bili lahko uporabljeni tudi podatki o gostoti virov pri uporabi spremenljivk L_i.



Slika 73: Primerjava območij nezadostne kakovosti $\underline{RP}_1$ (rdeče) s plastnicami GKB–reliefa (zelene črte) in plastnicami TTN 5 (modre črte) za del testnega območja Triglava /4/ (2000 krat 1500 m).

Sloja $\underline{RP}_1$ in $\underline{RP}_2$ sta zanimiva za načrtovanje aktivnosti pri izboljšavi DMR Slovenije. Pri tem gre za zajem boljših virov predvsem na določenih območjih nezadostne kakovosti $\underline{RP}_1$, lahko pa (glede na dodatne analize) tudi na območjih nedoločljive kakovosti $\underline{RP}_2$.

B.2.2 Predobdelava

Pri regionalizacijah za predobdelavo gre za izboljšanje kakovosti z odpravo grobih in sistematskih napak virov, za dodajanje in reduciranje podatkov ter za hidrološke analize.

B.2.2.1 Izboljšanje kakovosti z odpravo grobih in sistematskih napak virov ($\underline{RU}$, $\underline{RS}_i$, $\underline{RV}_i$)

Sloj za odpravo grobih napak točkovnih virov ($\underline{RU}$)

Sloj $\underline{RU}$ je bil uporabljen za izločanje grobih napak točkovnih virov, uporabljenih tudi kot referenčne točke (razdelek 5.3.1.2) glede na vrednosti višin refDMV. Pri tem sta bili upoštevani predvsem naslednji splošni izhodišči, ki se nanašata na:

- kakovost refDMV – σ_{DMV} in
- kakovost referenčnih točk – $\sigma_{T.}$.

Omenjena standardna odklona za obe skupini predhodno ocenjenih napak sta bila seštetа po poenostavljeni enačbi prenosa varianc: $\sigma^2 = \sigma_{DMV}^2 + \sigma_T^2$, pri kateri je bil zanemarjen drugi red napak (Peterca et al. 1974, 500; Drummond 1995; Burrough in McDonnell 1998, 248). Glede na postavljena izhodišča pridejo za regionalizacijo RU v poštev naslednje spremenljivke normiranih slojev $f_i(\partial h)$:

- razgibanost površja *R*,
- zakraselost površja *K*,
- poraslost površja *G*,
- rečna mreža *H*,
- stoječe vode in druge ravne površine *S*,
- transportna mreža *T* in
- podatki o delu izvajalcev *I*.

Vse naštete spremenljivke – ploskve $f_i(\partial h) \in [0, 100]$ so bile poenostavljeno določene glede na kakovost refDMV, saj je bila kakovost referenčnih točk precej večja (če ne upoštevamo grobih napak) in večinoma neodvisna od naštetih spremenljivk. Posamezne spremenljivke so bile pripravljene tako, da je bilo do neke mere upoštevano načelo mehke logike. Robovi gozdov in drugih spremenljivk so bili v ta namen nekoliko »zmehčani«.

Kot mero za ovrednotenje kakovosti podatkov v vertikalni smeri je bil privzet standardni odklon σ_{DMV} oz. varianca σ_{DMV}^2. Poenostavljena splošna formula za predhodno oceno σ_{DMV} pri upoštevanju standardnih odklonov σ_i glede na posamezne spremenljivke $f_i(h)$ je

$$\sigma_{DMV} = \sqrt{\sum_i \sigma_i^2} = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_K^2 + \ldots} \qquad \text{(B-7)}$$

kjer so indeksi *R*, *K*, ... oznake posameznih spremenljivk. Standardni odklon σ_i je bil izračunan po splošni formuli

$$\sigma_i = \frac{f_i(\partial h)}{100} \cdot \left(\sigma_{i\max} - \sigma_{i\min}\right) + \sigma_{i\min} \qquad \text{(B-8)}$$

Pri tem je $\sigma_{i\max}$ največji predhodno ocenjen povprečni standardni odklon pri vrednosti spremenljivke $f_i(\partial h) = 100$ in $\sigma_{i\min}$ najmanjši pri vrednosti $f_i(\partial h) = 0$. Največji in najmanjši povprečni standardni odklon sta bila izračunana s povprečenji območij, ki so vsebovala čim več značilnosti Slovenije. Primer za razgibanost *R* je $\sigma_{i\min}$, določen za večino ravnin in $\sigma_{i\max}$, ki ga dobimo na območju Alp.

Sloj RU je bil izračunan glede na vrednosti parametrov standardnih odklonov za posamezne spremenljivke iz preglednice 17, ki so se odražali v deležih sloja. Spremenljivka zakraselosti *K* ni bila upoštevana, saj je deloma vključena v spremenljivko značilnih območij *O* ter razgibanosti *R*. Upoštevani niso tudi podatki o izvajalcih, saj so bili na razpolago le za DMR 25, ki pa ni bil prevladujoče zastopan v refDMV. Poleg tega je bilo izvedeno premalo testov, da bi se dalo podatke o izvajalcih učinkovito upoštevati. Upoštevana ni bila neposredna kakovost virov pri izdelavi refDMV.

Spremenljivka $f_i(\partial h)$	σ [m]	Povezava
R (razgibanost)	2/20	osnovni sloj
O (značilna območja)	1/10	*R*
G (poraslost)	3/6	*R*
H (rečna mreža)	3/10	*R*
S (ravne površine)	1,5/3	osnovni sloj
T (transportna mreža)	1/20	*R*

Preglednica 17: Vrednosti parametrov minimalnega standardnega odklona $\sigma_{i\,\min}$ in maksimalnega $\sigma_{i\,\max}$ glede na posamezne spremenljivke za testiranje z refDMV pri izračunu regionalizacije RU.

Pri določitvi parametrov slojev za odpravo grobih napak referenčnih točk so bili upoštevani predhodno izvedeni manjši testi kakovosti posameznih virov, uporabljeni za izdelavo refDMV. Za izdelavo osnovnega sloja sta bili privzeti spremenljivki *R* in *S* ter bili v ta namen medsebojno prekriti po načelu najmanjših vrednosti glede na navedene standardne odklone. Vse druge spremenljivke so bile uporabljene za popravke osnovnega sloja glede na podatke o razgibanosti *R*, in sicer le na območjih teh spremenljivk. Spremenljivka poraslosti *G* se je npr. spreminjala le na območjih prisotnosti gozdov, in sicer bolj na razgibanih območjih, kot na nerazgibanih. Vse vrednosti popravkov so se v tem primeru gibale na intervalu med 3 in 6 m (enačba B-8). Osnovni sloj razgibanosti in popravki so bili torej sešteti po enačbi B-7 v končni sloj RU. Rezultat prikazuje tudi slika 44, uporabo sloja RU pa razdelek 5.3.1.3.

Sloji za lokalno odpravo sistematskih napak virov (RS_i)

Sloji RS_i so bili izdelani za vsak testiran sloj posebej, in sicer glede na vrednosti sistematskih napak oz. srednje odklone *M*. Določeni so bili po standardnih območjih RR, RN, RO in RG (razdelek 5.3.1.4). Posamezen zvezen sloj sistematskih napak, pri katerem je bil pomemben njegov predznak, je bil prištet pripadajočemu sloju vira. Tako izboljšani viri so bili uporabljeni pri obdelavi DMR.

Sloji za lokalno odpravo grobih napak virov (RV_i)

Pri slojih RV_i gre za lokalno določitev vrednosti srednjega kvadratnega odklona *m* oz. standardnega odklona σ (sistematske napake so bile predhodno odstranjene). S sloji RV_i lahko določimo območja grobih napak, ki jih npr. pri metodi utežnega seštevanja slojev samodejno eliminiramo glede na referenčne točke (razdelek 5.3.1.4.). Sloji za odpravo grobih napak so uporabni tudi za določitev območij geomorfoloških popravkov (razdelek 5.4.2.3) ter posredno za določitev območij nezadostne kakovosti RP_1 (razdelek 5.4.2.2).

B.2.2.2 Dodajanje/reduciranje podatkov in hidrološke analize (RD_i, RL, RB, RH)

Sloji za dodajanje in reduciranje virov so bili uporabljeni predvsem v sklopu predobdelave po metodi hkratne interpolacije virov. Hidrološke analize so pomembne ne glede na metodo obdelave DMR. V nadaljevanju je podrobneje opisan le sloj za izboljšanje DMR s hidrološkimi analizami RH, drugi pa so opisani v razdelku 5.3.2.

Sloj za izboljšanje s hidrološkimi analizami (RH)

Regionalizacija RH je uporabna za hidrološko analizo izdelanega DMR. Pri tem izločimo vsa območja, na katerih lahko pričakujemo površinske kraške pojave (predvsem vrtače). Za RH sta bili uporabljeni spremenljivki zakraselosti površja *K* in rečne mreže *H*. Sloj RH je bil izboljšan in preverjen z določitvijo območij vrtač kot zakraselih območij (spremenljivka *O*). Če je po območjih zakraselosti potekala kaka reka ali potok, potem se njihova okolica ni štela med zakrasela. Kot nezakrasela območja bi bilo morda bolje uporabiti nekoliko širšo okolico rek predvsem zato, ker je bila kakovost podatkov za izdelavo spremenljivke *K* mnogo slabša od kakovosti podatkov spremenljivke *H*. Z omenjenim problemom se nisem podrobneje ukvarjal.

Pri regionalizaciji za označitev območij brez površinskega odtoka bi bilo v prihodnje smiselno vključiti tudi podatke kot so npr. območja kamnolomov, peskokopov, ponikalnic ipd. Zanimivo bi bilo uporabiti kombinacijo spremenljivke zakraselosti *K* in geomorfološko homogenih območij *R*, s čimer bi bilo možno določiti območje Krasa.

B.2.3 Obdelava

Za Obdelavo so bili uporabljeni le sloji RV_i, in sicer pri metodi utežnega seštevanja virov (5.2.1.2).

C PREDHODNA IN DEJANSKA OCENA KAKOVOSTI VIROV

V 2. poglavju so bili opisani posamezni sloji DMV in nekateri parametri predhodnih ocen kakovosti. V tem delu disertacije sta podrobno in sistematično navedeni predhodna in dejanska ocena kakovosti potencialnih virov za izdelavo glede na izhodišča, postavljena v razdelkih 5.2.2 in 5.3.1. Za oceno kakovosti virov so uporabljene metode vizualnih in statističnih kontrol kakovosti ter podane ocene za izbor vključitve virov v novi DMR. Tabelarično ovrednotenje se naslanja metapodatkovne standarde ISO in CEN ter dodatno na tiste parametre, ki so najbolj zanimivi pri ovrednotenju kakovosti virov za izdelavo novega DMR. Kot zadnji opis (C.26) je podana tudi ocena kakovosti novega DMR Slovenije.

C.1 DMR 100

DMR 100 je podrobneje opisan pri predstavitvi obstoječih DMR v Sloveniji (razdelek 2.4.1). Glej tudi preglednico 18.

Dejanska ocena

DMR 100 so zajemali različni operaterji precej časa pri uporabi različnih virov. Na pogled je sloj večinoma lepa ploskev, brez očitnih grobih napak. Z vizualno metodo opazovanja izrisa DMR 100 prek DMR 25 ali prek refDMV sem na ne preveč hitrem računalniku ugotovil, da je DMR 100 pravzaprav bolj nehomogen, kot se je zdel na prvi pogled. Na več območjih sem opazil sistematsko položajno napako (v horizontalnem smislu), kot npr. premik za okoli 100 m proti zahodu na spodnjem delu testnega območja Krima /8/ ter podobno na praktično celotnem območju Polhovega Gradca /9/, razen na zgornjem robu ne. Za uporabo celotnega DMR 100 pri modeliranju DMR Slovenije bi bilo treba natančno opredeliti sistematske napake in jih s pomočjo identičnih točk odpraviti. Na žalost je meje območij napak zelo težko določiti, še posebej na testnem območju Krima /8/, kjer poteka meja med podatki s pravilnim in nepravilnim položajem nekje po območju Ljubljanskega barja, kjer pa se zaradi ravnine (nerazgibanega reliefa) take meje vizualno ne da določiti.

Oznaka podatka	DMR 100
Proizvajalec	Geodetski zavod SRS
Lastnik	© Geodetska uprava Republike Slovenije (GU)
Izvor	TTN 5, TTN 10, TK 25, točke temeljne geodetske mreže
Način zajema	analogna (ročna) interpolacija z vizualno oceno
Leto izvora/zadnje obnove	1973/1997
Topološki tip	celična mreža (DMV)
Merilo/ločljivost	100
Položajna točnost (horizontalna/vertikalna)	predhodna: 1 m / 10 m (ravninsko 3,3, gričevnato 9,0, gorato 16,1) dejanska: 10 m / 10,5 m (ravninsko 3,8, gričevnato 6,7, hribovito 10,8, gorato 51,9)
Vizualna ocena	homogen
Popolnost (pokritost Slovenije)	100 % + južna Avstrija
Cena izdelave/prodaje	ni podatka / 68.670 SIT (ni več v prodaji)
Uporabnost za izdelavo DMR	na območjih, kjer ni drugih podatkov ali so slabi (Alpe)
Opombe	predhodna ocena glede na testiranje natančnosti IGF

Preglednica 18: Opis kakovosti DMR 100 s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR.

Oznaka podatka	DMR 500
Proizvajalec	Geodetski zavod SRS
Lastnik	© Geodetska uprava Republike Slovenije (GU)
Izvor	TK 25, TK 50, DMR 100
Način zajema	analogna interpolacija z vizualno oceno
Leto izvora/zadnje obnove	1973/1975
Topološki tip	celična mreža (DMV)
Merilo/ločljivost	500 m
Položajna točnost (horizontalna/vertikalna)	predhodna: 0,5–9 m dejanska: gotovo precej večja od predhodne ocene
Vizualna ocena	
Popolnost (pokritost Slovenije)	100 %
Cena izdelave/prodaje	ni podatka / ni za prodajo
Uporabnost za izdelavo DMR	neprimeren
Opombe	slaba natančnost in ločljivost ter precej grobih napak

Preglednica 19: Opis kakovosti DMR 500 s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR.

Sistematske napake sem testiral in poskušal izločati tudi statistično (razdelek 5.3.1), vendar na manj razgibanih območjih ne dajo dobrih rezultatov. Poleg tega je bil DMR 100 zaradi napake, nastale pri zapisu, podan s sistematskim zamikom 50 m proti vzhodu in za isto vrednost proti severu, kar sem popravil.

Pozitivno za uporabo DMR 100 pri izdelavi DMR Slovenije iz obstoječih podatkov je, da so posamezne točke mreže točk interpolirane na način, da predstavljajo točno višino reliefa v posamezni točki in ne neko povprečno vrednost z upoštevanjem okolice, kot je primer pri InSAR DMV 25. Zaradi tega dejstva je primerno popravljen DMR 100 pravzaprav primernejši vir za izdelavo DMR Slovenije od InSAR DMV 25. Podrobnejša dejanska ocena je v preglednicah 7 in 10.

C.2 DMR 500

DMR 500 je podrobneje opisan pri predstavitvi obstoječih DMR v Sloveniji (razdelek 2.4.2). Glej tudi preglednico 19.

C.3 DMR 25

DMR 25 je podrobneje opisan pri predstavitvi obstoječih DMR v Sloveniji (razdelek 2.4.3). Glej tudi preglednico 20.

Oznaka podatka	DMR 25
Proizvajalec	DFG Consulting, d. o. o., Geoin, d. o. o., Geodetski zavod Slovenije, d. d. in Monolit, d. o. o.
Lastnik	© Geodetska uprava Republike Slovenije (GU)
Izvor	aeroposnetki CAS (1 : 17.500), DMR 40, (plastnice z DTK 25, TTN 5, TTN 10)
Način zajema	fotogrametrično (z digitalnim primerjanjem oblik na paru posnetkov; Kraus 1997, 376), interpolacija obstoječih podatkov z DTK 25, (TTN 5)
Leto izvora/zadnje obnove	1995–2001
Topološki tip	celična mreža (DMV)
Merilo/ločljivost	25 m
Položajna točnost (horizontalna/vertikalna)	predhodna: 1 m / < 2 m (1–3 m) – do leta 2001 dejanska za model, izdelan v letu 2000: 5 m / 4,0 m (ravninsko 1,6, gričevnato 2,7, hribovito 4,6, gorato 11,6)
Vizualna ocena	nehomogen, opazne metode interpolacije
Popolnost (pokritost Slovenije)	~75 %
Cena izdelave/prodaje	100.000.000 SIT / 1.079.100 SIT
Uporabnost za izdelavo DMR	na omejenem območju Julijskih Alp in na območjih izdelave od leta 2000 dalje (glede na opravljene teste v tej nalogi)
Opombe	zelo nehomogen (slabi stiki med listi TTN 5), različni izvorni podatki, slaba interpolacija DMR 40 v DMR 25

Preglednica 20: Opis kakovosti DMR 25 s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR.

Dejanska ocena

Organizacija zapisa podatkov DMR 25 je bila do nedavnega zelo nerodna, saj smo ga lahko dobili le po posameznih listih TTN 5, kar lahko pomeni zelo zamudno zlaganje posameznih 3500 listov za celotno Slove. Ocenjeval sem kakovost DMR 25, izdelanega pred letom 2000, in novejšega iz leta 2000. Pri podatkih novejšega izvora je bilo pričakovati mnogo boljši model. Na GU so začeli namreč leta 2000 bolj natančno kontrolirati modele in postavili realne pogoje za dovoljene napake, ločeno za neporasla in za porasla območja. Z vizualno primerjavo DMR 25 in podatkov o štirih izvajalcih (glej tudi dodatek B.1.10) sem ugotovil naslednje:

- *DFG Consulting, d. o. o.*: DMR 25 je na splošno relativno homogen in gladek z malo grobimi napakami; predvidevam, da je v večini primerov izdelan na osnovi plastnic GKB-reliefa s konstrukcijo TIN in interpolacijo ali pa z drugimi interpolacijskimi metodami, neodvisnimi od TIN; ponekod, npr. na vzhodu Slovenije, so opazni slabi stiki med kartami; pri DMR 25 iz leta 2000 je opaziti, da so še vedno uporabljali DMR, interpoliran iz plastnic, vendar je na območju Savinjskih Alp opaziti elemente fotogrametrično izdelanega modelom;
- *Geoin, d. o. o.*: DMR 25 je v glavnem precej nehomogen, ponekod gladek, drugje ne; vsaj za nekatera območja predvidevamo, da so uporabili plastnice GKB-reliefa;
- *Geodetski zavod Slovenije, d. d.*: DMR 25 je precej nehomogen in vsebuje kar nekaj grobih napak, vendar je videti precej podrobnosti, ki so morda v nekaterih primerih rezultat napak zajema zaradi vpliva vegetacije; stiki med kartami so pogosto slabi; zelo dobro je izdelan model za območje zahodnih Julijskih Alp; v tem primeru sem ugotovil, da so ga izdelali z interpolacijo plastnic GKB-reliefa; pri tem so obstoječo zbirko plastnic popravili in jih dopolnili s plastnicami, zajetimi z DTK 25, kar so najverjetneje naredili sami; za DMR 25 iz leta 2000 je na splošno opaziti manjše napake med stiki posameznih listov DMR 25; predvsem za območje Ljubljane bi lahko z gotovostjo sklepal, da je bil model izdelan s fotogrametričnimi podatki; v tem primeru je opaziti podoben »naključni« vzorec vboklin in izboklin, kot ga vidimo pri InSAR DMV 25; poleg tega se vidi tudi odlagališče odpadkov;
- *Monolit, d. o. o.*: DMR 25 je ponekod nehomogen in precej nepredvidljiv; na nerazgibanem območju Gorenjske je vidna struktura iz celične mreže interpoliranih točk z ločljivostjo 100 m; predvidevam, da je bil tam uporabljen DMR 100.

Najprej obravnavam ugotovitve analize glede izdelave DMR 25pred letom 2000. Najboljši je DMR 25 podjetja DFG Consulting, d. o. o., vendar pa je ponekod zagotovo izdelan le iz plastnic s pomočjo TIN ali z drugimi metodami interpolacije. Pri podjetjih Geoin, d. o. o. in Monolit, d. o. o. nisem prepričan o izvoru nekaterih podatkov za izdelavo. Na pogled precej slabši je DMR 25, ki ga je izdelal Geodetski zavod Slovenije, d. d., vendar pa v nekaterih primerih (npr. Prekmurje) ni videti odvisnosti modela od kakih drugih obstoječih podatkov.

Na DMR 25, izdelanem v letu 2000, se da takoj vizualno ugotoviti, da je precej bolj homogen in »lepši« od starejšega. Kljub vsemu ni pravega zaupanja vanj, saj se še vedno enostavno najde območja, za katera lahko trdim, da so bila interpolirana iz plastnic GKB-reliefa (vidijo se npr. trikotniki – TIN). Le podatki Geodetskega zavoda Slovenije,

d. d. bi bili lahko uporabni kot izvorni podatki za izdelavo DMR Slovenije, vendar bi jih bilo treba v nekaterih primerih posebej ovrednotiti in očistiti.

Pri podrobnih testih DMR 25 sem za celotno območje Slovenije ugotovil sistematsko položajno napako v horizontalnem smislu, in sicer za približno 15 m vzhodno in severno. To me je pripeljalo k izvoru sistematske napake, ki kaže, da so bili podatki zapisani z izhodiščem spodnjega levega vogala mrežne celice namesto z njenim centrom. Ves sloj sem zato premaknil za 12,5 m proti zahodu in za isto vrednost proti jugu. Glede na moje in druge analize (npr. Dupéret 1999; 2000) je DMR 25 mnogo slabši v gozdovih kot na neporaščenem površju. To sem upošteval pri izdelavi DMR iz podatkov različne kakovosti.

DMR 25 se je torej izkazal kot najbolj nehomogen vir izmed vseh potencialnih virov. Zato ga je bilo treba pred nadaljnjo uporabo temeljito vizualno in statistično testirati ter lokalno ugotavljati njegovo kakovost. DMR 25 torej ni upravičil potencialno najboljšega sloja za izdelavo DMR Slovenije, tudi najnovejša različica iz leta 2000 ne. Podrobni statistični podatki dejanske ocene so navedeni v preglednici 7.

C.4 'SPOT DMV 20'

'SPOT DMV 20' je podrobneje opisan pri predstavitvi obstoječih DMR v Sloveniji (razdelek 2.4.4). Glej tudi preglednico 26.

Oznaka podatka	'SPOT DMV 20'
Proizvajalec	SPOT Image, Ministrstvo za obrambo RS
Lastnik	Ministrstvo za obrambo RS
Izvor	satelitski posnetki SPOT
Način zajema	obdelava stereoparov satelitskih posnetkov
Leto izvora/zadnje obnove	1995–1999
Topološki tip	celična mreža (DMV)
Merilo/ločljivost	20 m
Položajna točnost (horizontalna/vertikalna)	predhodna: 5–10 m / 10–14 m (povprečna, ne glede na razgibanost površja)
Vizualna ocena	homogen (predpostavka)
Popolnost (pokritost Slovenije)	100 % + 80 km okolice
Cena izdelave/prodaje	500.000.000 SIT / ni podatka
Uporabnost za izdelavo DMR	pogojno uporaben (morda za okolico Slovenije, vendar bi z radarskimi posnetki izdelali boljšega in cenejšega)
Opombe	SPOT DMV je sicer mnogo bolj homogen kot DMR 100, vendar je v celoti manj natančen; uporabili bi ga lahko za dodatno kontrolo podatkov za izdelavo DMR

Preglednica 21: Opis kakovosti 'SPOT DMV 20' s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR.

C.5 InSAR DMV 25

Oznaka podatka	InSAR DMV 25
Proizvajalec	ZRC SAZU
Lastnik	© Geodetska uprava Republike Slovenije (GU)
Izvor	satelitski posnetki Evropske vesoljske agencije (ESA)
Način zajema	radarska interferometrija, referenca DMR 100
Leto izvora/zadnje obnove	1999–2000
Topološki tip	celična mreža (DMV)
Merilo/ločljivost	25 m
Položajna točnost (horizontalna/vertikalna)	predhodna: 5 m / 5 m dejanska: 5 m / 5,1 m (ravninsko 1,9, gričevnato 3,6, hribovito 6,3, gorato 13,4)
Vizualna ocena	homogen, nekoliko preveč gladek, opazne značilnosti izdelave
Popolnost (pokritost Slovenije)	100 % + okolica
Cena izdelave/prodaje	5.000.000 SIT / 1.079.100 SIT
Uporabnost za izdelavo DMR	deloma
Opombe	uporaben je le deloma; manj predvsem zaradi uporabe DMR 100 kot referenčnih podatkov za izdelavo

Preglednica 22: Opis kakovosti InSAR DMR 25 s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR.

Oznaka podatka	InSAR DMV 100
Proizvajalec	ZRC SAZU
Lastnik	© Geodetska uprava Republike Slovenije (GU)
Izvor	satelitski posnetki Evropske vesoljske agencije (ESA), InSAR DMV 25
Način zajema	radarska interferometrija, referenca DMR 100, prevzorčen iz InSAR DMV 25
Leto izvora/zadnje obnove	2000
Topološki tip	celična mreža (DMV)
Merilo/ločljivost	100 m
Položajna točnost (horizontalna/vertikalna)	dejanska: 5 m / 6,5 m
Vizualna ocena	homogen
Popolnost (pokritost Slovenije)	100 %
Cena izdelave/prodaje	150.000 SIT / 68.670 SIT
Uporabnost za izdelavo DMR	izveden iz InSAR DMV 25 s kubično konvolucijo in zato neuporaben
Opombe	

Preglednica 23: Opis kakovosti InSAR DMR 100 s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR.

InSAR DMV 25 je podrobneje opisan pri predstavitvi obstoječih DMR v Sloveniji (2.4.5). Glej tudi preglednico 21.

Dejanska ocena

Negativno dejstvo pri morebitni uporabi InSAR DMV 25 za izdelavo DMR iz obstoječih podatkov je, da predstavlja vrednost posameznih točk celične mreže povprečno višino z upoštevanjem okolice posameznih točke. Pri tem so značilnosti reliefa nekoliko preveč zglajene. Problem je tudi, da zgradbe niso bile zadovoljivo izločene ter da se zaradi narave radarskih posnetkov pojavljajo naključni vzorci lažne razgibanosti površja (Stančič et al. 2000c). Podrobnejši statistični podatki dejanske ocene so navedeni v preglednici 7.

C.6 InSAR DMV 100

InSAR DMV 100 je podrobneje opisan pri predstavitvi obstoječih DMR v Sloveniji (razdelek 2.4.6). Glej tudi preglednico 22.

Dejanska ocena

Ugotovil sem, da je vertikalna natančnost izvedenega modela InSAR DMV 100 za približno 25 % slabša od InSAR DMV 25 (Stančič et al. 2000b).

Oznaka podatka	DMR 10 (za obalni pas – 200 m), DMR 20 (za k. o. Šempeter)
Proizvajalec	
Lastnik	© Geodetska uprava Republike Slovenije (GU)
Izvor	aeroposnetki PAS (1 : 6000, 1 : 12.000), navezovalna mreža
Način zajema	interpolacija izvornih podatkov
Leto izvora/zadnje obnove	90. leta
Topološki tip	celična mreža (DMV)
Merilo/ločljivost	10 in 20 m
Položajna točnost (horizontalna/vertikalna)	predhodna: 0,3–0,4 m / 0,5 m dejanska za DMR 10: – / 2,5 m (ravninsko 1,5, gričevnato 2,0, hribovito 1,6 (?), gorato –)
Vizualna ocena	homogen
Popolnost (pokritost Slovenije)	lokalni (0,07 %, 0,1 %)
Cena izdelave/prodaje	ni podatka / ni za prodajo
Uporabnost za izdelavo DMR	DMR 10 za obalni pas je preverjeno uporaben, najverjetneje tudi DMR 20
Opombe	

Preglednica 24: Opis kakovosti DMR 10 in 20 s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR.

C.7 DMR 10 IN DMR 20 ZA MAJHNI OBMOČJI SLOVENIJE

DMR 10 in DMR 20 sta podrobneje opisana pri predstavitvi obstoječih DMR v Sloveniji (razdelek 2.6). Glej tudi preglednico 23.

Dejanska ocena

Geomorfološko je DMR 10 primerno izdelan. Izstopa le srednji odklon *M*, ki znaša v povprečju 1,5 m, kar pomeni da je izhodišče modela za toliko prenizko. Podrobnejši statistični podatki dejanske ocene so navedeni v preglednici 7.

C.8 DMR 10 MESTA LJUBLJANE

DMR 10 mesta Ljubljane je podrobneje opisan pri predstavitvi obstoječih DMR v Sloveniji (razdelek 2.6). Glej tudi preglednico 24.

Oznaka podatka	DMR 10 mesta Ljubljane
Proizvajalec	Geodetski zavod Slovenije, d. d.
Lastnik	© Mestna občina Ljubljana, Oddelek za stavbna zemljišča
Izvor	Baza topografskih načrtov velikih meril (1 : 500 in 1 : 1000), TTN 5 (plastnice, kóte, lomne črte), aeroposnetki, navezovalna mreža
Način zajema	interpolacija izvornih podatkov
Leto izvora/zadnje obnove	90. leta
Topološki tip	celična mreža (DMV)
Merilo/ločljivost	10 in 20 m
Položajna točnost (horizontalna/vertikalna)	predhodna: 0,5 m / 0,3 (?) m dejanska: – / 2 m (ravninsko 0,7, gričevnato 1,6, hribovito 2,5, gorato –)
Vizualna ocena	homogen, vidni elementi, ki ne spadajo v DMV (mostovi)
Popolnost (pokritost Slovenije)	lokalni (2 %)
Cena izdelave/prodaje	ni podatka
Uporabnost za izdelavo DMR	pokriva okolico Ljubljane; problem je v tem, da so v sloj vključeni tudi mostovi
Opombe	v izdelavo DMR bi bilo smiselno vključiti izvorne podatke za izdelavo DMR 10 mesta Ljubljane

Preglednica 25: Opis kakovosti DMR 10 mesta Ljubljane s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR.

Dejanska ocena

Največja napaka DMR 10 mesta Ljubljane je, da so vanj vključeni tudi mostovi. Podrobnejši statistični podatki dejanske ocene so navedeni v preglednici 7.

C.9 DMR 10 Ljubljanskega gradu

DMR 10 Ljubljanskega gradu je podrobneje opisan pri predstavitvi obstoječih DMR v Sloveniji (razdelek 2.6). Glej tudi preglednico 25.

Oznaka podatka	DMR 10 Ljubljanskega gradu
Proizvajalec	Inštitut za geodezijo in fotogrametrijo FGG (IGF)
Lastnik	Mestna občina Ljubljana
Izvor	vektorizirane plastnice Digitalne topografske baze Ljubljane, fotogrametrične domeritve
Način zajema	interpolacija izvornih podatkov
Leto izvora/zadnje obnove	90. leta
Topološki tip	celična mreža (DMV)
Merilo/ločljivost	10 m
Položajna točnost (horizontalna/vertikalna)	predhodna: 0,5 m / 0,2 m
Vizualna ocena	
Popolnost (pokritost Slovenije)	lokalni
Cena izdelave/prodaje	ni podatka
Uporabnost za izdelavo DMR	pokriva okolico griča Ljubljanskega gradu
Opombe	v izdelavo DMR bi bilo smiselno vključiti izvorne podatke za izdelavo DMR 10 Ljubljanskega gradu in okolice

Preglednica 26: Opis kakovosti DMR 10 Ljubljanskega gradu s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR.

C.10 GTOPO30/GLOBE

Nekatere podatke o digitalnem modelu višin GTOPO30 (in GLOBE) sem navedel v razdelku 2.2.2. Njegova ločljivost je 30 ločnih sekund v geografskih koordinatah, kar znaša na območju Slovenije okoli 650 m v smeri vzhod-zahod in okoli 925 m v smeri sever-jug. GTOPO30 je bil izdelan na različnih območjih sveta z različnimi tehnikami. Na območju Slovenije so uporabili rastrsko topografsko zbirko podatkov z ločljivostjo 3" (okoli 90 m), ki jo je zajela ameriška vojska (*GTOPO30* 2000). Omenjene podatke so prevzorčili v celično mrežo 30".

Horizontalna natančnost je bila ocenjena na 15" do 30". Vertikalna točnost za podatke iz katerih je bil GTOPO30 izdelan za območje Slovenije je bila ocenjena na okoli ±30 m (pri 90 % zaupanju), pri tem je bil izmerjen srednji kvadratni odklon ±18 m (Gesch in Larson 1996; preglednica 27).

Dejanska ocena

Za območje Slovenije je bil GTOPO30 prevzorčen v DKS in celično mrežo ločljivosti 500 krat 500 m. Pri tem je bila na vzorcu nekaj 10 kontrolnih točk ocenjena vertikalna natančnost na okoli 25 m.

Oznaka podatka	GTOPO30
Proizvajalec	United States Geological Survey
Lastnik	© United States Geological Survey
Izvor	digitalni podatki o reliefu
Način zajema	interpolacija izvornih podatkov
Leto izvora/zadnje obnove	
Topološki tip	celična mreža (DMV)
Merilo/ločljivost	500 m (30'')
Položajna točnost (horizontalna/vertikalna)	predhodna: neznano / 18 m dejanska: neznano / 25 m (povprečna, ne glede na razgibanost površja – ta je slabša od deklarirane)
Vizualna ocena	homogen
Popolnost (pokritost Slovenije)	100 %
Cena izdelave/prodaje	ni podatka / brezplačno
Uporabnost za izdelavo DMR	neuporaben
Opombe	uporaben le za referenco za morebitno izdelavo InSAR DMV okolice Slovenije

Preglednica 27: Opis kakovosti GTOPO30 s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR.

C.11 GKB

GKB – Generalizirana topografska baza je nastala sredi devetdesetih let prejšnjega stoletja, ko je GU naročila skeniranje in vektorizacijo (s polsamodejno metodo) reprodukcijskih originalov Topografske karte merila 1 : 25.000 (TK 25) za celotno Slovenijo.

Topografska karta merila 1 : 25.000 (TK 25) je bila za celotno območje bivše Jugoslavije sistematsko in v glavnem z istimi osnovami izdelana med leti 1947 in 1967 (Suda 1974), in sicer kot vojaška skrivnost JLA. Osnove TK 25 so bile topografske izmere v tridesetih letih prejšnjega stoletja. Glede na to, da je bil del sedanje Slovenije deloma v Italiji deloma v Jugoslaviji, je bila vsaka skupina kart zapisana v svojem sistemu. Največja razlika je bila glede izhodiščnega meridiana, ki je bil za italijanske karte Rim, za jugoslovanske pa Pariz. TK 25 je bila izdelana z reprodukcijo predvojnih kart, pri čemer so pretisnili geografske koordinate glede na izhodišče v Greenwichu. Natisnjena je bila v formatu 5' krat 7'30". Ker je bilo do dokončanja vseh kart veliko sprememb antropogene narave, so začeli leta 1967 s postopnim ažuriranjem.

Leta 1968 so pristopili k II. izdaji TK 25, pri čemer se je bistveno spremenila vsebina, videz ter format listov kart (7'30" krat 7'30"). Serijo II. izdaje TK 25 so končali leta 1980 in naslednje leto začeli obnovo z namenom ažuriranja podatkov ter izboljšanja prikaza in odpravljanja napak (Peterca 1982).

Na GU so začeli leta 1993 na osnovi jugoslovanske vojaške karte TK 25 z izdelavo slovenske državne topografske karte DTK 25. Območje Slovenije je bilo razdeljeno na 205 listov, izmed katerih je bilo nekaj z manj vsebine priključenih drugim, tako da je vseh listov dejansko 198 (*GU* 1998). Lista kart Pince in Podturen sta bila preračunana iz 5.

meridianske cone v 6. (Podobnikar 1995a), s čimer je vse ozemlje Slovenije obravnavano v enotni meridianski coni.

Predhodna ocena horizontalne in vertikalne točnosti temelji na analizi obdelave numeričnih in grafičnih napak, nastalih med postopkom izdelave karte. Mednje sodijo skupine napak (izvornih podatkov), ki se pri ocenjevanju *horizontalne točnosti* nanašajo na (Peterca et al. 1974, 511–518):

- geodetsko osnovo in montažo ($m_1 = \pm 0{,}08$ mm),
- kartografsko obdelavo – kartografski vir večjega merila ($m_0 = \pm 0{,}08$ mm),
- generalizacijo kartografskega vira ($m_{gen} = \pm 0{,}20$ mm),
- izdelavo predlog za graviranje ($m_2 = \pm 0{,}08$ mm),
- graviranje ($m_3 = \pm 0{,}12$ mm),
- neujemanje barv – spremembe zunanjih vplivov ($m_4 = \pm 0{,}04$ mm), centriranje kovinskih matric in listov papirja ($m_5 = \pm 0{,}10$ mm),
- deformacije papirja ($m_6 = \pm 0{,}10$ mm),
- kartografsko merjenje točk ($m_7 = \pm 0{,}07$ mm) – kot približek ga lahko upoštevamo pri vektorizaciji podatkov za izdelavo GKB, pri čemer je treba upoštevati tudi napako geokodiranja.

Glede na navedene skupne napak dobimo za TK 25, izdelano s fotogrametričnimi metodami, po metodi prenosa varianc naslednjo predhodno oceno točnosti (ocena za fotogrametrični original $m_{fot} = \pm 0{,}15$ mm; Peterca et al. 1974)

$$m_{F25} = \sqrt{m_{fot}^2 + \sum_{i=2}^{7} m_i^2} = \pm 0{,}26 \text{ mm} \qquad \text{(C-1)}$$

in s klasičnimi metodami (ocena za kartografski original $m_{kart} = \pm 0{,}30$ mm)

$$m_{H25} = \sqrt{m_{kart}^2 + \sum_{i=2}^{7} m_i^2} = \pm 0{,}37 \text{ mm} \qquad \text{(C-2)}$$

Ker nisem imel podatkov o tem, na kakšen način so bili posamezni viri zajeti, sem privzel slabšo predhodno oceno točnosti GKB, in sicer $m_{25} = \pm 0{,}37$ mm, ki znaša ±9,3 m v naravi.

Predhodna ocena *vertikalne točnosti* za GKB se nanaša le na GKB-relief, torej na vektorizirane plastnice. Odvisna je od naslednjih elementov, ki se pravzaprav nanašajo na horizontalno točnost GKB (Peterca et al. 1974, 519–532):

- horizontalna točnost (katere vpliv se veča z naklonom reliefa),
- oblika plastnic (geomorfološko),
- dolžina plastnic (če so detajli dobro označeni – oz. če niso osiromašeni),
- naklon reliefa (glede na napake medsebojnih razdalj plastnic – večinoma sistematske napake, ki jih težko identificiramo).

Nadalje lahko analiziramo vertikalni točnosti kót in plastnic. *Kóte* lahko s trigonometričnim nivelmanom določimo na ±0,1 do ±0,2 m, z geometrijskim pa še nekoliko bolje (Peterca et al. 1974). Napaka je odvisna tudi od zaokroževanja na eno decimalko ali na celo vrednost v metrih ter znaša v GKB skupaj okoli ±0,36 m pri zaokroževanju na celo vrednost. Pri drugih kótah je napaka okoli ±0,60 m. Pri klasično izmerjenih pa znaša od ±0,7 do ±4,8 m, odvisno od razgibanosti zemeljskega površja (Peterca et al. 1974, 523).

Pri kartiranju *plastnic* v merilih večjih od 1 : 100.000 je poudarek predvsem na geometrijski, pri manjših merilih pa na geomorfološki točnosti (Peterca et al. 1974). Napako kartiranja iz fotogrametričnih originalov lahko izračunamo po Koppejevi empirični formuli (Peterca et al. 1974, 530; enačba 2-1). Vertikalno točnost plastnic na fotogrametričnem originalu pojmujemo kot del, ki je neodvisen od naklona reliefa in znaša za karte TK 25 okoli $m_{Vfot} = \pm 1{,}1$ m. Drugi del napak, povezanih z naklonom reliefa, se nanaša predvsem na kartografsko-reprodukcijsko obdelavo, izračunamo po formuli

$$m_{Vteh} = \sqrt{\sum_{i=2}^{7} m_i^2 \cdot \mathrm{tg}^2\alpha} \qquad \text{(C-3)}$$

kjer so parametri m_i enaki kot pri izračunu predhodne ocene horizontalne točnosti. Skupna ocenjena povprečna napaka za povprečni naklon okoli 14,5º za celotno Slovenijo je

$$m_{V25} = \sqrt{m_{Vfot}^2 + m_{Vteh}^2} = \sqrt{1{,}1^2 + 6{,}5^2 \cdot \mathrm{tg}^2 14{,}5°} = 2{,}0 \text{ m} \qquad \text{(C-4)}$$

Pri predhodni oceni horizontalne in vertikalne točnosti želim upoštevati tudi rezultate nekaterih znanih dejanskih ocen. V bivši Jugoslaviji so naredili oceno geodetske osnove in detajlnih točk TK 25 (Peterca et al. 1974). Standardni odklon horizontalnih položajev za detajlne točke (ocenjen vzorec prek 1000 točk) se je gibal med približno ±10 do ±15 m. Pri standardnem odklonu v vertikalni smeri so uporabili Koppejevo formulo pri upoštevanju srednjega naklona površja. Za naklon okoli 7º so dobili vrednosti ±2,3 m, za ravnine pa približno ±0,5 m.

Če upoštevamo, da je srednji naklon površja Slovenije, dobljenega iz podatkov DMV, približno 14,5º, kar je dvakrat več kot pri testiranju v bivši Jugoslaviji (Peterca et al. 1974), potem dobimo povprečni standardni odklon višin za GKB-relief namesto ±2,3 m, okoli ±4,7 m.

Okoli 20 let stara ameriška empirična ocena za kakovost plastnic navaja podatek, da ima okoli 10 % višin napako večjo od polovice ekvidistance plastnic (Durmmond 1995, 40). Iz tega sledi, da je za DMR, izdelan iz plastnic, pričakovan standardni odklon nadmorskih višin 0,312-kratna vrednost ekvidistance. Pri ekvidistanci 10 m, kot je to primer za DTK 25, je v tem primeru pričakovana napaka nadmorske višine okoli ±3 m.

GKB, ki vključuje digitalizirane podatke reliefa z DTK 25, so temeljito testirali po izdelavi leta 1996 (Radovan et al. 1996). Kakovost so ocenjevali na 20 izmed 201 listov pri upoštevanju standardov SDTS. Primerjali so jih s podatki listov DOF 5 in 25, in sicer z nekaj čez 500 odčitanimi točkami. Povprečna položajna (horizontalna) točnost je bila ocenjena na presenetljivo majhno vrednost okoli $m = \pm 5$ m (Radovan et al. 1996, 256). Rezultat je zelo soliden, predvidevamo pa, da je točnost zaradi napak pri vektorizaciji nekoliko slabša od dobljene. Vertikalna točnost je bila ocenjena le približno, in sicer na $m = \pm 2$ do ±7 m.

Pred nekaj leti so bili na manjšem testnem območju izračunani tudi srednji odkloni detajlnih točk DTK 25 glede na meritve z GPS (Lipej 1997; 1998). Rezultat primerjave z nekaj nad 30 točkami je $m = \pm 13{,}2$ m. V preglednici 28 je upoštevana predhodna ocena kakovosti glede na omenjene rezultate testiranj. K dejanski oceni kakovosti štejemo tisto, ki smo jo dobili z lastnimi testi. Podrobnejši rezultati so v preglednici 28.

Oznaka podatka	GKB
Proizvajalec	Monolit, d. o. o., Igea, d. o. o., CLS d. o. o., Geodetski zavod Slovenije, d. d.
Lastnik	© Geodetska uprava Republike Slovenije (GU)
Izvor	DTK 25 (TK 25); podatki so bili zajeti s klasičnimi metodami izmere in fotogrametričnimi metodami
Način zajema	digitalizacija – polsamodejna vektorizacija skenogramov
Leto izvora/zadnje obnove	analogni podatki: 1947–1967 / 90. leta vektorski podatki: 1994–1996 (glede na stanje l. 1986) / redno
Topološki tip	vektor – območje, črta, točka
Merilo/ločljivost	1 : 25.000
Položajna točnost (horizontalna/vertikalna)	predhodna: 13 m / 4 m (ravninsko 1 m, gorato 7 m) – relativna točnost je zaradi homogenosti podatkov precej večja od navedene dejanska: – / 4 m (ravninsko 1,8, gričevnato 3,0, hribovito 5,2, gorato 7,4)
Vizualna ocena	pri GKB-reliefu manjkajo pomembni strmi deli in območja, ki jih sekajo ceste; posamezni podatki se med seboj praviloma dobro ujemajo
Popolnost (pokritost Slovenije)	100 % + (teoretično 205 kart)
Cena izdelave/prodaje	ni podatka / različno, odvisno od namena
Uporabnost za izdelavo DMR	GKB-relief je osnovni podatek za izdelavo DMR; GKB-hidrografija je pomembna za izboljšave DMR s hidrološkimi analizami; GKB-ceste in GKB-železnice sta uporabna za manjše lokalne izboljšave DMR
Opombe	Pri GKB-relief je opaziti odstopanja na sredini nekaterih listov za do okoli 30 m glede na skenograme. Napaka je morda nastala pri geokodiranju GKB-reliefa ali pa se originali TK 25 in DTK 25 razlikujejo.

Preglednica 28: Opis kakovosti GKB s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR.

C.11.1 GKB-relief

Topografski podatki sloja GKB-reliefa podajajo oblikovanost zemeljskega površja s plastnicami.

Dejanska ocena

Dejansko oceno sloja GKB-reliefa sem izvajal po naslednjem postopku:

- ročna odstranitev grobih napak GKB-reliefa (atributnih, topoloških),

- ocena vpliva gozdov na kakovost s primerjavo predvojne TK 25 in DTK 25, s katere so bile vektorizirane plastnice GKB-reliefa,
- dejanska ocena kakovosti GKB-reliefa na podlagi interpolacije plastnic s točno metodo.

C.11.1.1 Odstranitev grobih napak GKB-reliefa

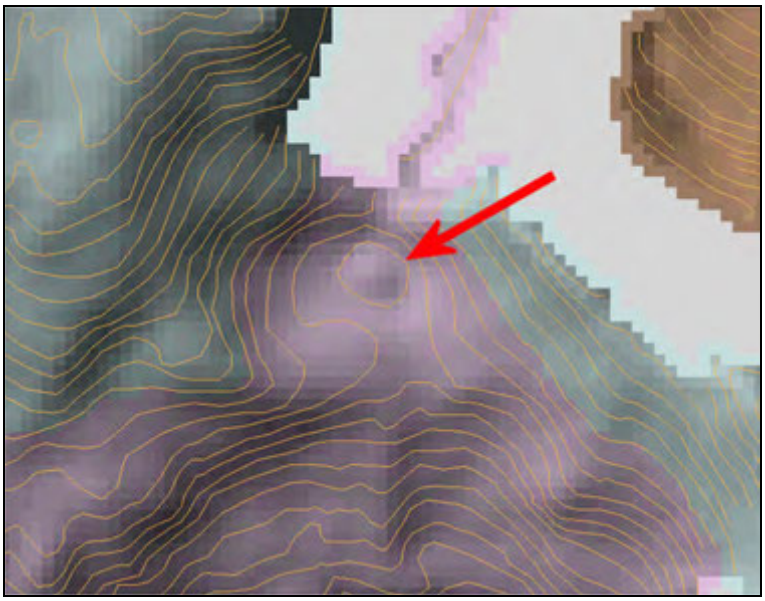
Plastnice GKB-reliefa ne predstavljajo vseh podatkov reliefa, ki jih lahko (vizualno) preberemo z analogne karte DTK 25. Pri tem mislim predvsem na manjkajoče pogojne znake, ki prikazujejo skalovje in vrtače ter kóte. Vektorizirani podatki vsebujejo poleg predhodno analiziranih naključnih in sistematskih tudi precej grobih napak. Taki so neuporabni kot viri za izdelavo DMR Slovenije. Grobe napake sem na testnih območjih odpravljal z vizualno metodo. Pri tem sem izdelal enostaven DMV 10 prek posameznih kart GKB-reliefa in ga prikazal s kombinacijo hipsometrične barvne lestvice ter s samodejno izdelanimi sencami. Iz DMV 10 sem nato samodejno izdelal plastnice in jih položil prek omenjenega sloja. Vse skupaj sem prekril še s plastnicami GKB-reliefa. S podrobnim pregledom opisanega sloja se je dalo hitro opaziti nenavadne sence, ki so nakazovale grobe napake. Te je dodatno potrjevalo neujemanje samodejno ustvarjenih plastnic ter originalnih iz GKB-reliefa. Nekatere manj izrazite grobe napake se je dalo odpravljati z opazovanjem zelo finega samodejnega senčenja DMV 10 brez drugih slojev. Posebej so bile pregledane tudi morebitne napake na robovih in vogalih stikov listov GKB-reliefa. Odkrite grobe napake strnem v naslednje skupine:

- napake atributov nadmorskih višin (tematske napake):
  - zamenjava vrednosti nadmorskih višin dveh sosednjih plastnic,
  - 'češke napake' atributiranja,
  - napake z vrednostjo 50 ali 100 m zaradi napačnega določanja atributov višin,
  - napake pri napačni identifikaciji ali interpretaciji vdolbin in vzpetin (zamenjave med vrtačami in griči, predvsem na kraškem reliefu),
  - druge napake atributov;
- topološke napake (logična usklajenost):
  - križanje plastnic zaradi majhnih medsebojnih razdalj oz. slabe kontrole polsamodejne vektorizacije,
  - križanje plastnic na mestih, kjer je krajni del plastnice »ušel« po padnici, označeni v GKB-reliefu,
  - pri digitalizaciji so bile izpuščene nekatere plastnice, po drugi strani pa zajete padnice in atributirane kot plastnice;
- napake lokacije (položajne napake):
  - napačen potek plastnic (npr. nepravilni medsebojni stiki),
  - krajni del plastnice je »ušel« po padnici, označeni v GKB-reliefu.

Plastnice za GKB-reliefa na žalost niso bile zajete za najbolj strma območja (predvsem Alp), kjer je odpovedala metoda polsamodejne vektorizacije. Z ročno vektorizacijo bi na takih (majhnih) območjih krepko izboljšali sloj v celoti. Poleg napak digitalizacije sem opazil tudi napake pri kartiranju plastnic na analognih DTK 25 (napake kartografskih osnov). Takih ni veliko in se pojavljajo na območju Alp v naslednjih oblikah:

- neujemanje (topologija, atribut) plastnic med posameznimi listi kart,
- neujemanje (topologija, atribut) plastnic na mestih, kjer so pretrgane (ceste, reke, stavbe itd.),
- deloma neenotni kriteriji za generalizacijo,
- semantično nelogičen potek plastnic.

Slika 74 prikazuje napako na karti za del testnega območja Alp /2/. S puščico označeno območje je bilo pri postopku odkrivanja značilnih točk iz plastnic pravilno prepoznano za vrtačo. Vendar pa je bila vrednost kóte na DTK 25 glede na plastnice napačna. Rezultat je lažni vrh na dnu vrtače, dejansko višino pa bi bilo treba na novo izmeriti in s tem odpraviti napako plastnic ali kóte.



Slika 74: Primer napake na DTK 25, odkrite z vizualnimi kontrolami videza, kjer višina kóte ni skladna s plastnicami za del testnega območja Alp /2/ (730 krat 710 m).

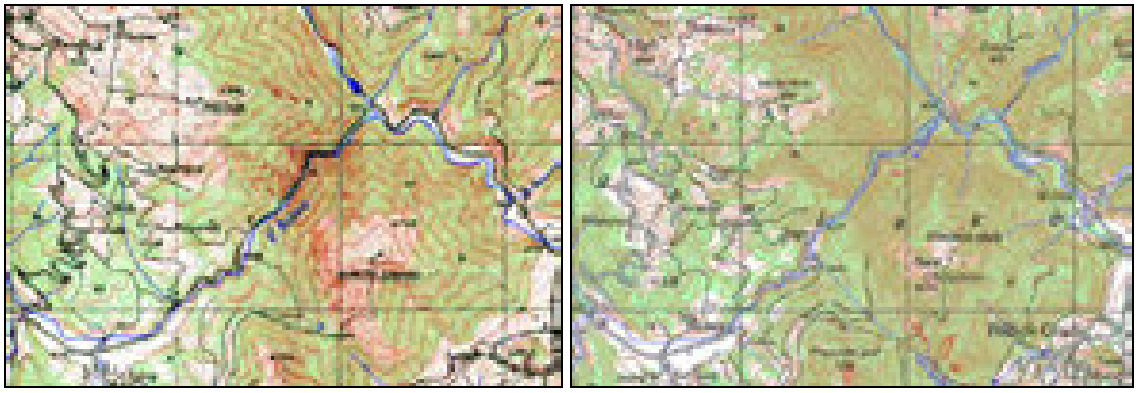
Ugotovil sem, da se izrazito največ napak pojavlja v Alpah ali pa na nekaterih na pogled povprečnih območjih. Za slednje predvidevam, da so različni izvajalci (operaterji) s precej različno vestnostjo opravljali svoje delo in pri tem uporabljali različne metode. Na posamezen list DTK 25 je bilo ugotovljeno in ocenjeno naslednje število napak:

- 16 napak atributiranja v GKB-reliefu,
- 2,5 napak topologije v GKB-reliefu,
- 0,2 napak (topologija, atribut) na DTK 25.

C.11.1.2 Primerjava predvojne TK 25 in DTK 25

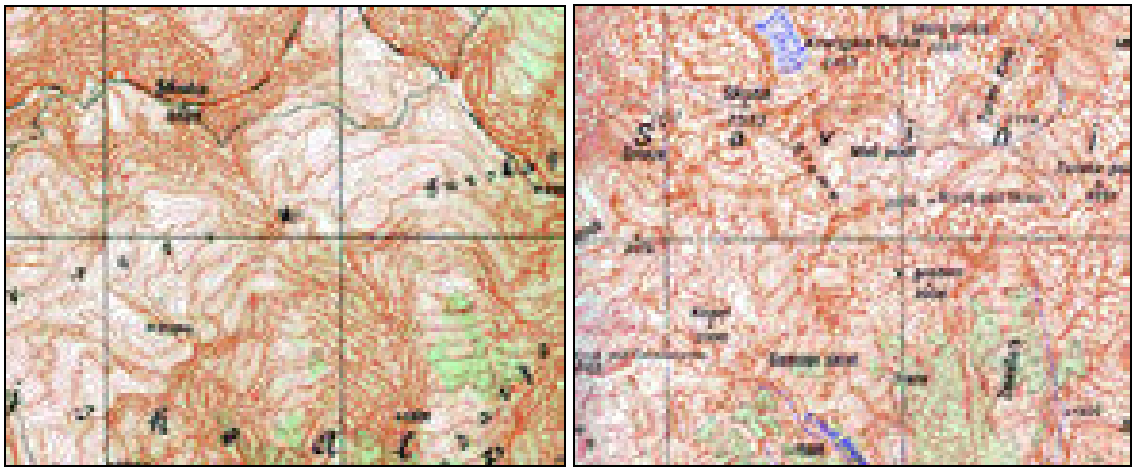
Poraja se hipotetično vprašanje, če niso bile morda plastnice, izmerjene s klasičnimi predvojnimi geodetskimi izmerami za TK 25, morda celo točnejše (natančnejše že na prvi pogled ne) od novejših DTK 25, pri katerih so bile plastnice izmerjene s fotogrametričnimi metodami (Rotar 2000). Hipoteza, da so plastnice na TK 25 boljše kot na DTK 25, se nanaša predvsem za območja gozdov (še posebej tudi za okolico vrtač), deloma pa tudi za ravnine. V obeh primerih naj bi bile fotogrametrične metode manj zane-

sljive od klasičnih. Primerjava TK 25 in DTK 25 je bila narejena za manjše območje, in sicer za že večkrat prikazan del testnega območja Polhograjskega hribovja /9/. Primerjava na sliki 75 kaže, da se kóte nadmorskih višin precej razlikujejo ter da so bile gozdne površine pred vojno precej manjše. Podrobna vizualna primerjava pokaže, da je predvsem na območjih gozdov stare TK 25 več podrobnosti, kot pri novejši DTK 25. Predvsem pa je na stari karti vrisano kar precej več vrtač. Na novi karti pa se s plastnicami nekoliko bolj ujema hidrografija.



Slika 75: Predvojna TK 25 (levo) in novejša DTK 25 (desno) za manjše območje Polhograjskega hribovja.

Slika 76 prikazuje podobno kot v prejšnjem primeru, primerjavo manjšega območja Kamniških Alp. Vidi se, da so nekatere oblike površja zelo različno interpretirane, pri čemer lahko zasledimo na istem mestu ene karte vrtačo, na drugi pa vrh. V tem primeru prikazuje DTK 25 na splošno precej več podrobnosti od TK 25, večina nadmorskih višin in kot pa se razlikuje še bolj kot v prejšnjem primeru.



Slika 76: TK 25 (levo) in novejša DTK 25 (desno) za manjše območje Savinjskih Alp.

Ugotovil sem, da so vrtače na predvojni TK 25, še posebej na območjih gozdov, bolj prepričljive od novejših na DTK 25. Na splošno pa so plastnice na DTK 25 boljše kakovosti.

C.11.1.3 Dejanska ocena kakovosti GKB-reliefa

S primerno metodo sem želel ugotoviti tudi dejansko vrednost vertikalne točnosti/natančnosti sloja GKB-reliefa. V ta namen je bilo treba popravljene vektorizirane plastnice (dodatek C.11.1.1) interpolirati na tak način, da je dobljena ploskev karseda dobro ponazarjala dejansko površje, prikazano v GKB-reliefu. Nekoč so izvajali take ocene z ročnimi interpolacijami, danes pa si to lahko privoščimo s samodejnimi metodami. Kot najprimernejšo sem uporabil metodo LIDIC, ki semantično pravilno interpolira plastnice. Dobljen DMV je vseboval tudi vrednosti posameznih kot istega vira, in sicer samo za območja značilnih območij vrhov in vrtač. To se je izkazalo posebej učinkovito za dodatno odkrivanje manjših grobih napak ali drugih nepravilnosti plastnic ter kót. Pri testnem območju Prekmurja /6/ sem vzel velikost glavnega intervala 5 m (namesto običajnih 10 m), saj je tam veliko pomožnih plastnic na 2,5 m višine. Iz kontrole sem izločil območja brez plastnic v gorah (glede na regionalizacijo RR). Točke, interpolirane glede na GKB-relief, sem nato primerjal z referenčnimi točkami. Rezultate, dobljene za ravna območja, je treba jemati z nekoliko rezerve. V tem primeru pride zaradi slabo zaključenih plastnic na prehodu iz ravnine v breg pogosto do anomalij. Statistični podatki dejanske ocene so navedeni v preglednici 28, podrobnejši pa v preglednici 7.

C.11.2 GKB-hidrografija

Sloj GKB-hidrografije na žalost ne vsebuje podatkov nadmorskih višin. Kljub vsemu so omenjeni podatki zelo pomembni za modeliranje DMR, predvsem za izboljšave DMR s hidrološkimi analizami.

Dejanska ocena

Pri vektorizaciji je opaziti kar nekaj napak operaterjev. Tako se je v enem primeru pojavil del reke celo na trasi železnice. Na nekaterih območjih je opaziti relativno velika neujemanja plastnic in črt vodotokov v horizontalnem smislu (nad 20 m).

C.11.3 GKB-železnice in GKB-ceste

Zbirki GKB-železnic in GKB-cest ne vsebujeta podatkov nadmorskih višin. Horizontalna točnost je še nekoliko slabša kot pri GKB-reliefu in GKB-hidrografiji, saj so črte cest in železnic v nekaterih primerih generalizirane s premikanjem, predvsem glede na podatke hidroloških elementov kart.

Dejanska ocena

Pri poskusih se je izkazalo, da tudi črte železnic in cest niso neposredno uporabne pri izdelavi DMR. Primerne so le za izdelavo nekaterih slojev za regionalizacijo, pri čemer je največji problem ta, da podatki niso atributirani glede na kategorizacijo cest, ampak le na njihovo širino.

C.12 RAZVODNICE (DTK 25)

Podatki razvodnic so bili zajeti s približno digitalizacijo DTK 25 po grebenih brez atributiranja nadmorskih višin. Zbirka naj bi predstavljala razvodnice, pomembne za upravljalce voda. Za njih je bilo pomembno, da dobljena območja razdvajajo pomembnejše

reke in potoke. Pred kratkim so zbirko razvodnic (ter t. i. nevode) spojili z zbirko GKB--hidrografija. Podrobnejše podatke prikazuje preglednica 29.

Oznaka podatka	Razvodnice DTK 25
Proizvajalec	Hidrometeorološki zavod RS in Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Lastnik	© Hidrometeorološki zavod RS in Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, (Geodetska uprava Republike Slovenije; GU)
Izvor	DTK 25 (TK 25), rokopisne karte v merilu 1 : 25.000, Arhiv HMZ
Način zajema	digitalizacija – ročna vektorizacija skenogramov
Leto izvora/zadnje obnove	analogni podatki: 1947–1967 / 90. leta vektorski podatki: 90. leta
Topološki tip	vektor – črta
Merilo/ločljivost	1 : 25.000
Položajna točnost (horizontalna/vertikalna)	dejanska: > 30 m / ni podatka višin
Vizualna ocena	razvodnice porečij so ocenjene vizualno s kart in ponekod zelo očitno odstopajo od samodejno ustvarjenih
Popolnost (pokritost Slovenije)	100 % +
Cena izdelave/prodaje	ni podatka
Uporabnost za izdelavo DMR	neuporabno zaradi slabe natančnosti zajema
Opombe	

Preglednica 29: Opis kakovosti razvodnic (DTK 25) s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR.

Dejanska ocena

Vizualna primerjava poteka razvodnic glede na plastnice GKB-reliefa kaže na to, da so razvodnice posejane preveč redko po površju, saj so zajete le pomembnejše med njimi. Poleg tega so položajno nenatančne, saj odstopajo ponekod od dejanskega poteka grebenov v horizontalnem smislu tudi po več kot 100 m (glej sliko 50; razdelek 5.3.1.1). Na žalost jih na območju Krasa in drugih kraških območjih ni. Razvodnice so se izkazale kot neprimerne pri izdelavi DMR Slovenije.

C.13 Plastnice (TTN 5 in TTN 10)

Zbirki analognih kart TTN 5 in 10 sta bili izdelani predvsem fotogrametrično iz posnetkov CAS. Osnovni namen CAS pa je bil prav izdelava TTN. Na nekaterih mestih so podatki zajeti tudi s klasičnimi geodetskimi metodami. Razni posamezniki in organizacije so plastnice za določena območja Slovenije lokalno vektorizirali na različne načine. GU takih podatkov nima na voljo, ima pa skenograme za celotno Slovenijo. Za testiranje sem uporabil manjše testno območje okolice Triglava, ki so ga vektorizirali na upravi Triglavskega narodnega parka.

Teoretična horizontalna natančnost čitanja je za TTN 5 glede na merilo karte okoli 1 m (za TTN 10 okoli 2 m). Dovoljeno odstopanje je 0,3 mm na karti, kar znaša 1,5 m (3 m)

v naravi. V predhodno oceno se nisem podrobneje poglabljal, teoretične osnove zanjo pa so podane pri oceni kakovosti GKB. Dejansko natančnost/točnost so predhodno večkrat ocenjevali.

Analizo kakovosti so izdelali leta 1976 na Inštitutu Geodetskega zavoda SRS za vzorec 7 listov TTN 5 in dveh listov TTN 10. Na TTN 5 so ugotovili srednji kvadratni odklon detajlnih točk v horizontalnem smislu ±2,07 m ter drugih točk ±2,3 m. Pri testiranju drugih elementov karte TTN 5 je bilo opaziti manjše odstopanje. Nekoliko večji odklon so ugotovili pri TTN 10 (Lipej 1997; 1998). Analiza skeniranih TTN 5 je bila izvedena tudi s primerjavo z meritvami GPS na 33 detajlnih točkah (Lipej 1997, 148). Ugotovljena je bila horizontalna točnost ±2,2 m.

Oznaka podatka	Plastnice TTN 5 in TTN 10
Proizvajalec	več, na voljo je bil del Triglavskega narodnega parka, ki so ga vektorizirali na upravi Triglavskega narodnega parka
Lastnik	© Geodetska uprava Republike Slovenije (GU)
Izvor	TTN 5, TTN 10
Način zajema	digitalizacija v vektorsko strukturo
Leto izvora/zadnje obnove	90. leta, 2000 (zajem analognih podatkov je trajal 40 let)
Topološki tip	vektor – črta
Merilo/ločljivost	1 : 5000, 1 : 10.000
Položajna točnost (horizontalna/vertikalna)	predhodna: 3 m / 3 m (ravninsko 0,66 m, gorato 4 m) dejanska: – / 3,5 m (ravninsko –, gričevnato 4,1, hribovito 2,8, gorato 11,7; podatki niso realni zaradi majhnosti testnega območja)
Vizualna ocena	homogeno
Popolnost (pokritost Slovenije)	lokalno (teoretično 3270 kart)
Cena izdelave/prodaje	ni podatka
Uporabnost za izdelavo DMR	Uporabno predvsem za dopolnilo plastnicam GKB-reliefa
Opombe	

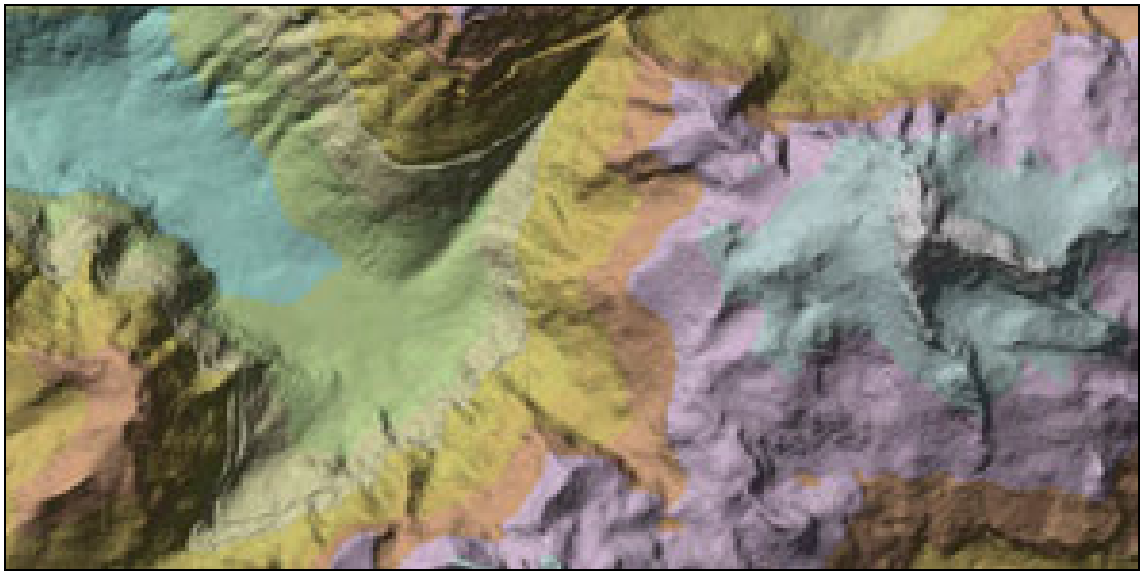
Preglednica 30: Opis kakovosti plastnic (TTN5 in 10) s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR.

Kljub relativno vzpodbudnim podatkom analiz je marsikdo ugotovil, da so omenjeni podatki precej slabši. Gre za to, da so se kartografi v nekaterih primerih držali bolj pravila geomorfološke natančnosti (s čimer so risali oblikovnice namesto plastnic), kot pa geometrijske, kar je sicer normalno za karte precej manjših meril (Lipej 1997, 149). Omenjena ugotovitev velja še posebej za plastnice, ki so jih oblikovali po pravilu geomorfološke natančnosti na območjih gozdov. Poleg vsega so izdelovali TTN 5 in 10 okoli 40 let. V tem času so se spremenile metode zajema, zamenjali operaterji itd. Glede na predhodne in dodatne subjektivne ocene izdelave kart TTN lahko privzamem kot predhodno vrednost horizontalne točnosti za okoli ±3 m (preglednica 30).

Dejanska ocena

Za testno območje Triglava /4/ sem imel na razpolago na primeren način vektorizirane – sklenjene plastnice. Za ovrednotenje sem uporabil interpolacijsko metodo LIDIC, z osnovnim intervalom 20 m ter ločljivostjo 10 m. Omenjena ločljivost se je izkazala celo

nekoliko premajhna, saj so bili nekateri razmiki med plastnicami digitalizirani celo na 1 m (!), kar je enako optični ločljivosti kartiranja. Slika 77 prikazuje interpolirano testno območje Triglava /4/. Prikaz je narejen brez filtriranja, tako da relief glede na podatke geomorfološko ni dovolj gladek. Prav zato pa se zelo dobro vidi tudi šest napak, nastalih pri atributiranju plastnic, vidne kot police ali terase oz. kot useki cest. Pri večini drugih interpolacijskih metod se take napake z ločljivostjo 10 m skrijejo. Izrazita prednost interpolacije z LIDIC se je zaradi sklenjenosti plastnic pokazala prav v tem primeru. Za boljši rezultat interpolacije TTN sem pogrešal le zgostitev plastnic na nerazgibanih območjih ter podatke kót na območjih ekstremov. Podrobnejši statistični podatki dejanske ocene so navedeni v preglednici 7.



Slika 77: DMV z ločljivostjo 10 m, interpoliran iz plastnic s kart TTN za testno območje Triglava /4/ (6000 krat 3000 m). Vidi se napake atributov šestih plastnic.

C.14 TOPOGRAFSKA BAZA VEČJE NATANČNOSTI (TBVN)

V okviru projekta TOPO 5 GU so začeli v letu 1997 na IGF zajemati topografske podatke iz kartografskega gradiva TTN 5 in DOF 5 (merilo 1 : 5000) v Topografsko bazo večje natančnosti (TBVN). Zbirka, ki ustreza natančnosti merila 1 : 5000, je znana tudi pod imenom TOPO 5 ali kot 'Digitalna topografska baza' (DTB). V prihodnosti bo TBVN v kombinaciji z DOF 5 nadomestila obstoječe analogno gradivo TTN 5 in 10. TBVN bo uporabna tudi kot osnova za izdelavo kart večjih meril in se bo uporabljala hkrati s CBPS, RPE in REZI. Trenutno je zajetih nekaj območij listov TTN 5 na območju Ljubljane in drugod. V zbirko bodo skupaj z atributi nadmorskih višin zajeti naslednji podatki:

- osi cest in kolovozov in drugih prometnih površin,
- osi železnic,
- vznožja stebrov elektrovodov in
- zemljišča v posebni rabi (industrijska dvorišča, odlagališča, pokopališča, kamnolomi, športne površine ipd.).

Testno zajemajo tudi nadmorske višine hidroloških podatkov, pri čemer je problematično fotogrametrično odčitavanje nadmorskih višin potokov v gozdovih ter pogosto spreminjanje strug zaradi erozije. Prav gotovo bo smiselno zajeti vsaj približno nadmorsko višino osi potokov in rek, kar bi v hidrološkem smislu izboljšalo geomorfološke lastnosti DMR. Dobro bi bilo zajeti tudi nadmorske višine stoječih voda. Podatki zbirke TBVN so zelo gosti predvsem v naseljenih območjih, kjer bi bili lahko glavni vir za izdelavo DMR. Vsi navedeni podatki (razen morda osi železnic) bodo gotovo zelo pomembni za izdelavo DMR, saj najpogosteje obravnavajo prav detajle antropogenega izvora. Predvidoma bo vertikalna točnost TBVN okoli 1 m in iz tega vidika zaradi podobnih metod zajema podobna zbirki CBPS. Podatek horizontalne točnosti v preglednici 31 je privzet glede na v razdelku C.13 podano oceno za plastnice TTN 5 in 10.

Oznaka podatka	TBVN (TOPO 5, DTB)
Proizvajalec	Geodetski inštitut Slovenije, Geoin, d. o. o., Monolit, d. o. o.
Lastnik	© Geodetska uprava Republike Slovenije (GU)
Izvor	DOF in drugo
Način zajema	fotogrametrično in vektorizacija DOF
Leto izvora/zadnje obnove	1997–2001 in še traja
Topološki tip	vektor – točka, črta, območje
Merilo/ločljivost	1 : 5000
Položajna točnost (horizontalna/vertikalna)	predhodna: 3 m / 1 m
Vizualna ocena	–
Popolnost (pokritost Slovenije)	lokalno
Cena izdelave/prodaje	ni podatka
Uporabnost za izdelavo DMR	uporabno, še posebej če bodo zajete tudi značilne točke in črte
Opombe	razvoj zbirke je šele na začetku

Preglednica 31: Opis kakovosti TBVN s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR.

C.15 PODATKI ZA NAČRTOVANJE TRAS AVTOCEST

Podatke za načrtovanje tras avtocest uporablja DARS, d. d. Gre za natančno geodetsko izmero območij avtocest, pri čemer so na razpolago zelo gosto (na nekaj metrov) posejane raztresene točke, značilne črte in plastnice. Taki podatki omogočajo detajlno izdelavo DMV okolice tras in so lahko odlični za izboljšavo DMR Slovenije (preglednica 32).

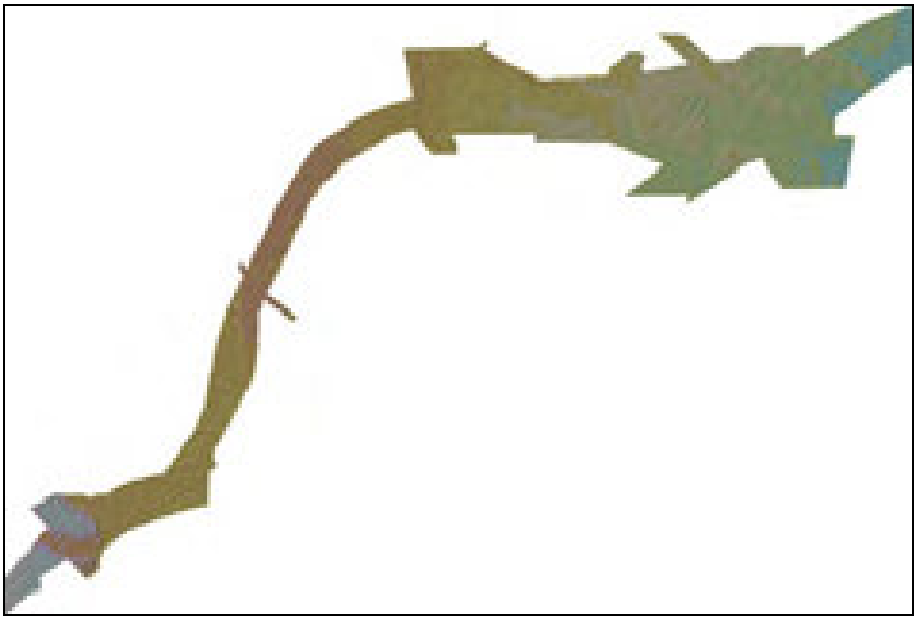
Dejanska ocena

Za oceno sem imel na razpolago podatke za manjše območje velikosti 9900 krat 6600 m, ki pokriva približno 150 m širok pas okolice trase avtoceste (slika 78). Razgibanost površja je izjemno majhna, z nadmorskimi višinami med 181 in 195 m in je tipi-

čno ravninski. Podrobnejši statistični podatki dejanske ocene so navedeni v preglednici 7.

Oznaka podatka	Podatki za načrtovanje avtocest
Proizvajalec	
Lastnik	© DARS, d. d.
Izvor	terenske meritve
Način zajema	digitalni načrti in zbirke podatkov
Leto izvora/zadnje obnove	90. leta in kasneje
Topološki tip	vektor – točka, črta
Merilo/ločljivost	velika merila
Položajna točnost (horizontalna/vertikalna)	predhodna: < 1 m / < 1 m dejanska: – / 1,5 m (ravninsko 0,6, gričevnato –, hribovito –, gorato –)
Vizualna ocena	homogeno
Popolnost (pokritost Slovenije)	lokalno
Cena izdelave/prodaje	ni podatka
Uporabnost za izdelavo DMR	zelo uporabno za izboljšanje DMR v okolici avtocest
Opombe	

Preglednica 32: Opis kakovosti podatkov za izdelavo avtocest ter primernosti za izdelavo DMR.



Slika 78: DMV ločljivosti 5 m, izdelan iz podatkov DARS, d. d., uporaben kot referenčni za kontrolo kakovosti podatkov v okolici gradnje avtocest. Prikazan je za območje Prekmurja (9900 krat 6600 m).

C.16 GEODETSKE TOČKE

Geodetske točke so obravnavane v razdelku 4.4.8.2, kjer je govora o umestitvi virov in DMR v koordinatni sistem. Položajno (horizontalno, vertikalno) so to najbolj natančni in točni podatki, ki jih imamo na območju Slovenije. Glede na natančnost in način nastanka mreže ločimo (*GU* 2000):

- točke temeljnih geodetskih mrež, ki jih je v Sloveniji približno 37.000 in so vse v digitalni obliki ter
- točke izmeritvenih geodetskih mrež, ki jih je v Sloveniji okoli 235.000, od katerih jih je dobro polovico v digitalni obliki.

Nadalje ločimo mreže višjih in nižjih redov. Druge točke, ki se ne povezujejo v posebne mreže, so lahko oslonilne ali mejne, točke Zemljiškega katastra (ZK-točke), Centralne baze podatkov o stavbah (CBPS) ipd. Neodvisno od drugih podatkov reliefa, geodetske točke niso primerne za izdelavo DMR, saj podajajo le vrednost nadmorskih višin v ožji oklici točke in ne širše. Drugače bi bilo, če bi za točke poznali dodatne lastnosti, npr. da predstavljajo vrh, vrtačo, sedlo itd. Za izdelavo DMR so zanimive tudi kóte, ki imajo oznake nadmorske višine in jih najdemo na kartah. Te točke imajo geomorfološko pogosto značilne položaje, kot so vrhovi gora, križišča cest, prelazi itd. Posebej obravnavam točke, ki sem jih imel na razpolago za testiranje od GU. Mednje spadajo:

- *točke temeljnih geodetskih mrež*: trigonometrične točke I. in II. reda, trigonometrične in poligonometrične točke III. in IV. reda, točke navezovalne mreže, točke mestne poligonometrične mreže, oslonilne točke, točke nivelmanskih mrež,
- *točke izmeritvenih mrež*: poligonske in linijske,
- ZK-točke,
- CBPS.

Zbirk nivelmanskih točk temeljnih geodetskih mrež ter točk izmeritvenih geodetskih mrež nisem imel na razpolago. Zbirka nivelmanskih točk je bila konec leta 2000 v fazi testiranja napak in aplikacije za upravljanje zbirke podatkov. Pripravljena naj bi bila v začetku leta 2001. V procesu izdelave DMR bi bile potencialno uporabne tudi mejne točke Slovenije ter kóte (C.21).

C.17 TOČKE TEMELJNIH GEODETSKIH MREŽ

Točke temeljnih geodetskih mrež kot geodetskih točk delimo na: točke temeljnih horizontalnih (položajnih) mrež ter temeljnih vertikalnih (višinskih) mrež (*RGU* 1981). Med horizontalne mreže sodijo trigonometrične, poligonometrične, navezovalne in mestne, med višinske pa razni nivelmani. Položajna natančnost je odvisna od reda in vrste mreže ter od metode določitve koordinat.

Predvsem trigonometrične in poligonometrične točke so relativno enakomerno raztresene po vsej Sloveniji z različno gostoto glede na red mreže. Trigonometrične točke I. reda so večinoma postavljene po vrhovih hribov in gora, vendar ne vse. Pri vseh točkah temeljnih geodetskih mrež je problem tudi v tem, da večinoma niso postavljene natančno v nivo zemeljskega površja, temveč nekoliko više. To še posebej velja za trigonomet-

rične točke I. reda, ki so postavljene na stebrih ter za vse druge točke, ki so predvidene za signaliziranje. Precej novejših točk navezovalne mreže je izmerjenih z metodami GPS.

Poznavanje vertikalnega položaja je problematično tudi za nivelmanske točke. Praktično vsi reperji so namreč postavljeni z neznano vrednostjo nad zemeljskim površjem, pri čemer so npr. reperji NVN okoli 1,5 m nad tlemi. Oddaljenost od tal je zabeležena le grafično v topografijah. Nekatere točke so postavljene na mestih, ki se pogrezajo, in so zato nekoliko netočne. Poleg tega je pri nivelmanskih točkah horizontalni položaj slabše določen, saj je odčitan s kart TTN 5. Zaradi nedoločene (ali slabo določene) oddaljenosti od tal nivelmanske točke niso uporabne za izdelavo DMR.

GU ima trenutno (september 2001) na razpolago 27.195 točk temeljnih horizontalnih mrež in okoli 12.000 točk temeljnih vertikalnih mrež (*GU* 2000). Ocena predhodne horizontalne in vertikalne natančnosti je določena v 'Pravilniku o tehničnih normativih za mreže temeljnih geodetskih mrež' (*RGU* 1981). Natančnost se razlikuje glede na vrsto in red točke, stabilizacijo, metodo določitve položaja, operaterja, instrumenta itd. (glej napake izvornih podatkov, razdelek 4.5.2.5). V pravilniku so določena odstopanja glede na red in vrsto mreže v odvisnosti od dolžine merjene stranice mreže.

Grobe napake geodetskih točk (temeljnih geodetskih mrež) so odkrivali pri kontroli kakovosti DMR 100 (Radovan et al. 1994b). Kot take so klasificirali tiste, ki so odstopale od vrednosti, izračunane glede na DMR 100, za več kot približno štirikratno vrednost srednjega kvadratnega odklona (DMR 100). Pri tem so bile vrednosti srednjega kvadratnega odklona 20 m za nerazgiban, 40 m za razgiban in 80 m za zelo razgiban relief. Pri 1,3 % geodetskih točk so ugotovili grobe napake, nastale zaradi (Radovan et al. 1994b, 71):

- napačne nadmorske višine geodetskih točk (do nekaj 100 m),
- napačno vnesene koordinate geodetskih točk (do nekaj 100 m),
- vrednosti, ki so bile vnesene »kar tako« (z napakami tudi čez 1000 m),
- napake DMR 100 kljub predhodnim popravkom,
- napačne višine enega izmed vogalov lokalne mreže DMR 100.

Analiza horizontalne in vertikalne točnosti geodetskih točk je bila izvedena s primerjavo meritev GPS in poznavanju geoidne višine N_g (Lipej 1997, 146). Na majhnem vzorcu 14 točk so za horizontalno točnost izračunali vrednost ±0,09 m in za vertikalno ±0,52 m. Predvsem za vertikalno točnost so podatki slabši od pričakovanih. Predhodno položajno natančnost za uporabo pri izdelavi DMR sem pavšalno ocenil ob dodatnem upoštevanju dejstva, da točke niso povsem v nivoju zemeljskega površja (zunaj mest so okoli 10 cm nad tlemi). Rezultat pa kvari tudi verjetnost lokalnih deformacij geodetskih mrež (preglednica 33).

Dejanska ocena

S poskusi sem ugotovil, da lahko trigonometrične točke I. reda uporabimo kot značilne točke reliefa v primeru znane oddaljenosti od zemeljskega površja, medtem ko vse druge uporabimo le kot raztresene. Slednje so uporabne predvsem kot referenčne za kontrolo virov in DMR. Pred nadaljnjo uporabo geodetskih točk sem izločil (skupaj jih je bilo 25.791):

- vse točke, ki predstavljajo signale in torej niso postavljene na tla (2736; v zbirki so ostale točke, pri katerih ni znana stabilizacija; glej tudi Radovan et al. 1994a, 9),
- vse točke, ki imajo vrednost nadmorske višine natanko 0, kar pomeni, da ni atributov nadmorskih višin (600).

Po osnovnem izločanju je ostalo 22.455 geodetskih točk, torej 12,9 % manj. Dodatno sem izločil še 920 točk, ki niso na območju Slovenije. Omenjeni zbirki podatkov sem pridružil še 28 trigonometričnih točk I. reda (ponavadi stabiliziranih na betonskih stebrih), za katere je bila znana vertikalna razdalja točk od zemeljskega površja. Ena izmed omenjenih točk je dodatno izpadla iz testiranja, saj je bila mejna.

Oznaka podatka	točke temeljnih geodetskih mrež
Proizvajalec	
Lastnik	© Geodetska uprava Republike Slovenije (GU)
Izvor	terenske meritve
Način zajema	različno
Leto izvora/zadnje obnove	zelo različno
Topološki tip	vektor – točka
Merilo/ločljivost	–
Položajna točnost (horizontalna/vertikalna)	predhodna: 0,1–5 m / 0,1–0,6 m
Vizualna ocena	točk je največ na značilnih predelih reliefa ter na urbanih območjih
Popolnost (pokritost Slovenije)	raztreseno (temeljne: ~27.000 v digitalni obliki – stanje septembra 2001)
Cena izdelave/prodaje	ni podatka / različno, odvisno od namena
Uporabnost za izdelavo DMR	večinoma zelo uporabne za izboljšanje DMR
Opombe	pri položajni točnosti niso upoštevane nivelmanske točke, ki imajo manjšo horizontalno natančnost

Preglednica 33: Opis kakovosti točk temeljnih geodetskih mrež s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR.

C.18 TOČKE IZMERITVENIH GEODETSKIH MREŽ

Geodetske točke, ki spadajo med izmeritvene mreže, so lahko poligonske ali linijske. Načrtujejo in vodijo jih po posameznih geodetskih izpostavah, kjer so jih začeli leta 1998 zbirati, leta 2000 pa je začela delovati skupna zbirka podatkov na GU. Izmed okoli 235.000 potencialnih je uporabnih nekaj nad 200.000, saj so druge predvsem zaradi slabe stabilizacije uničene. V digitalni zbirki jih bilo konec leta 2000 dostopnih okoli 125.000, septembra 2001 pa že 223.307. Problem nekaterih poligonskih točk je, da so postavljene na mestih, ki se pogrezajo in je zato kakovost atributa nadmorske višine vprašljiva. Precej točk tudi nima podatka višine. Podatkov izmeritvenih mrež za izdelavo DMR nisem imel na razpolago. Podatki o kakovosti so navedeni v preglednici 34.

Oznaka podatka	točke izmeritvenih geodetskih mrež
Proizvajalec	
Lastnik	© Geodetska uprava Republike Slovenije (GU)
Izvor	terenske meritve
Način zajema	različno
Leto izvora/zadnje obnove	zelo različno
Topološki tip	vektor – točka
Merilo/ločljivost	–
Položajna točnost (horizontalna/vertikalna)	predhodna: 0,1–5 m / 0,1–0,7 m
Vizualna ocena	točk je največ na značilnih predelih reliefa ter na urbanih območjih
Popolnost (pokritost Slovenije)	raztreseno (poligonske: ~213.200, linijske: ~9600 v digitalni obliki – stanje septembra 2001)
Cena izdelave/prodaje	ni podatka / različno, odvisno od namena
Uporabnost za izdelavo DMR	večinoma zelo uporabne za izboljšanje DMR
Opombe	

Preglednica 34: Opis kakovosti točk izmeritvenih mrež s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR.

C.19 TOČKE ZEMLJIŠKEGA KATASTRA (ZK–TOČKE)

Oznaka podatka	ZK-točke (točke Zemljiškega katastra)
Proizvajalec	
Lastnik	© Geodetska uprava Republike Slovenije (GU)
Izvor	terenske meritve
Način zajema	meritev z navezovalno mrežo, ekspropriacija in drugo
Leto izvora/zadnje obnove	različno
Topološki tip	vektor – točka
Merilo/ločljivost	–
Položajna točnost (horizontalna/vertikalna)	predhodna: 0,2 m / 1 m
Vizualna ocena	položaji stavb so predvsem na nerazgibanem površju, kjer je tudi kakovost drugih podatkov dobra
Popolnost (pokritost Slovenije)	raztreseno (trenutno okoli 1.000.000 objektov od 1.200.000)
Cena izdelave/prodaje	ni podatka / različno, odvisno od namena
Uporabnost za izdelavo DMR	večinoma zelo uporaben za izboljšanje DMR
Opombe	

Preglednica 35: Opis kakovosti ZK–točk s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR.

V navodilih za zajem točk Zemljiškega katastra (ZK-točk) je kot opcija navedena tudi možnost neobveznega zajema nadmorskih višin. Nekatere izpostave GU so te podatke zajemale, druge pa ne. Točke so (numerično) zajete na različne terestrične (predvsem tahimetrija in ortogonalna metoda) in fotogrametrične načine. Vezane so na izmeritveno mrežo ali mejna znamenja z znanimi koordinatami. Po podatkih naj bi bila položajna natančnost izmere s tahimetrično metodo okoli 0,15 m (*RGU* 1984). Vendar vsebujejo na žalost po predhodnih ugotovitvah podatki ZK-točk precej grobih napak. Tak primer so nekatere točke lokalnih izmer brez absolutnih vrednosti nadmorskih višin. V teh primerih se zbirajo vrednosti okoli celoštevilčnih števil 0, 100 in 1000 m. Podrobnejši elementi kakovosti so navedeni v preglednici 35.

Dejanska ocena

Na razpolago sem imel 1.765.069 ZK-točk. Zbirka je bila prečiščena grobih napak po kriteriju izločitve točk, ki so bile nad in pod najvišjo nadmorsko višino posameznega območja geodetske izpostave. Za nadaljnje podrobnejše testiranje jih je po osnovnem izločanju ostalo še 1.291.546, torej 26,8 % manj. Dodatno sem izločil še 734 točk, ki niso bile na območju Slovenije (večinoma na meji ali njeni bližini). V geodetskih izpostavah Sežana in Koper ne vodijo podatkov o nadmorskih višinah za ZK-točk.

C.20 Centralna baza podatkov o stavbah (CBPS)

Centralna baza podatkov o stavbah (CBPS) bo temelj pri izdelavi Katastra stavb v skladu z 'Zakonom o evidentiranju nepremičnin'. Vsebuje geometrične podatke obrisov stavb s centroidi v bližini vhodov. Poleg tega pa tudi opisne podatke o sami stavbi, med katerimi so za izdelavo DMR pomembne nadmorske višine vznožja stavb ob vhodu kot najnižje točke stavbe. Nekateri drugi podatki so še: o postopku zajema v zbirko, atributi povezave z RPE, ZK ter vrsto rabe na stavbah. Zajem bo predvidoma končan do leta 2002 (*GU* 2000). Trenutno so dosegljivi (nepopolni) podatki za okoli 1.000.000 od 1.200.000 objektov. Predhodna ocena horizontalne položajne točnosti je bila izračunana glede na uporabljene metode zajema, in sicer (*GU* 2000):

- 0,12 m za fotogrametrični zajem,
- 0,5 m za zajem iz TTN 5 in 10,
- 1,5 m iz grafičnih podatkov ZK,
- 1,5 m in več za terenski zajem brez navezave na mrežo.

Vertikalna natančnost naj bi se gibala med 0,5 in 1 m in naj bi se ujemala s standardi zajemoma TBVN. Podrobnejši podatki so navedeni v preglednici 36.

Dejanska ocena

Ker se glede na definicijo DMR, interpolirana ploskev pod stavbo šteje kot nadaljevanje ploskve površja okolice stavbe, je nadmorska višina vznožja stavbe pri vhodu (fundus) nezadosten podatek za interpolacijo celotnega obrisa stavbe. Zato obravnavam kot primeren podatek za izdelavo DMR le točko (centroid) vznožja stavbe. Pri tem velja opozoriti, da se pri vseh centroidih pojavljala sistematska napaka (v povprečju 5 do 10 m), ker so bile so bile nadmorske višine zajete v bližini stavb, pripisane pa centroidom! Za celotno Slovenijo sem imel na razpolago 240.156 centroidov stavb (CBPS) od okoli 1.200.000 vseh, ki bodo dokončno zajete v naslednjih letih (*GU* 2000). Za nadaljnjo

uporabo sem izločil z osnovnim izločanjem tiste točke, ki so imele vrednost višine 0 m, kar je pomenilo, da ni podatka. Po čiščenju je ostalo 213.383 točk, torej jih je izpadlo 11,1 %. Za dodatnih 33 točk se je izkazalo, da ne pripadajo območju Slovenije (gre za točke na meji ali v njeni bližini).

Oznaka podatka	CBPS (Centralna baza podatkov o stavbah)
Proizvajalec	Igea, d. o. o., Geodetski zavod Celje, DFG Consulting, d. o. o.
Lastnik	© Geodetska uprava Republike Slovenije (GU)
Izvor	terenske meritve, aeroposnetki
Način zajema	terenski zajem z ali brez navezave na mrežo, fotogrametrija, TTN 5 in 10, grafični podatki ZK
Leto izvora/zadnje obnove	90. leta in kasneje
Topološki tip	vektor – točka
Merilo/ločljivost	–
Položajna točnost (horizontalna/vertikalna)	predhodna: 0–1,5 m in več / 1 m
Vizualna ocena	položaji stavb so predvsem na nerazgibanem površju, kjer je tudi kakovost drugih podatkov dobra
Popolnost (pokritost Slovenije)	raztreseno (trenutno okoli 1.000.000 objektov od 1.200.000)
Cena izdelave/prodaje	ni podatka / podatkov ne izdajajo
Uporabnost za izdelavo DMR	večinoma zelo uporaben za izboljšanje DMR
Opombe	

Preglednica 36: Opis kakovosti CBPS s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR.

C.21 KÓTE

Za predhodno oceno natančnosti/točnosti kót, zajetih z DTK 25, lahko privzamemo rezultate analiz GKB (dodatek C.11). Povprečna horizontalna natančnost je bila ocenjena na okoli 10 m, vertikalna pa okoli 2 m. Na razpolago sem imel 1849 lastnih točk, pri katerih je bilo večina morebitnih napak sproti odpravljenih. Na enem izmed testnih primerov je bilo opaziti neujemanje plastnic in kót na DTK 25 (glej slika 74). Izmed 1849 jih je odpadlo 52, ker so bile zunaj območja Slovenije ter 18 dodatnih točk zaradi atributnih napak zunaj ožjih testnih območij. Pri kótah na kartah TTN 5 in 10 je bolje ocenjena predvsem njihova horizontalna točnost. Za izdelavo DMR Slovenije bi bilo smiselno zajeti vse kóte z DTK 25 ter jim pri tem dodati atribute značilnosti glede na geomorfološke značilnosti, kot so vrh, vrtača in sedlo.

C.22 DRUGE TOČKE

Kot 'druge točke' (vse druge, ki so bile zajete za različne namene) sem imel za manjša območja dejansko na razpolago točke, zajete iz fotogrametričnega gradiva, namenjene

za kontrolo DMR 25 in InSAR DMV 25 (IGF). Zajete so bile za več območij, in sicer v pravilni mreži 25 krat 25 m, veh skupaj 12.890. Od teh jih je 432 padlo zunaj meja Slovenije in jih nisem upošteval. Tako zajete točke so zaradi enakomerne porazdelitve v prostoru kot dober približek naključni porazdelitvi ena najboljših možnih kontrol kakovosti virov in izdelkov. Poleg tega so bile zajete zelo vestno in natančno, kar se je pokazalo pri samodejnem izločanju napak po 'metodi varianc' (preglednica 4), pri čemer ni izpadla niti ena sama točka. Omenjene točke lahko po vseh opravljenih kontrolah vključimo v končni DMR.

C.23 Skenogrami in DOF

Skenograme TTN 5 in DOF 5 sem uporabil za nekaj testnih območij. Skenogrami TTN 5 so uporabni za vizualno kontrolo kakovosti plastnic glede na plastnice GKB--reliefa. DOF 5 je uporaben za lažjo orientacijo in predstavo o prostoru, primerjavo točnosti posameznih potencialnih podatkov in učinkovito vizualizacijo, npr. v perspektivnem pogledu. Posamezne vizualizacije z vključevanjem skenogramov TTN 5 in DOF 5 sem v disertaciji uporabljal večkrat.

Oznaka podatka	refDMV
Proizvajalec	sam
Lastnik	–
Izvor	GKB-relief, DMR 25, DMR 100, DMR 10, DMR 10 mesta Ljubljane
Način zajema	različno
Leto izvora/zadnje obnove	2000
Topološki tip	celična mreža
Merilo/ločljivost	20 m
Položajna točnost (horizontalna/vertikalna)	predhodna: 5 m / 4 m dejanska: 5 m / 4,7 m (ravninsko 1,6, gričevnato 3,3, hribovito 5,7, gorato 12,2)
Vizualna ocena	homogen
Popolnost (pokritost Slovenije)	100 % +
Cena izdelave/prodaje	ni podatka / ni za prodajo
Uporabnost za izdelavo DMR	ni predviden kot vir
Opombe	uporaben kot referenčni sloj za kontrolo vektorskih podatkov, predvsem raznih točk ter za izboljšavo virov – odpravljanje grobih in sistematskih napak

Preglednica 37: Opis kakovosti referenčnega DMV (refDMV).

C.24 3D MODELI MEST

V zbirkah metapodatkov podatkov naletimo na nekaj 3D modelov mest, in sicer (*CEPP* 1997–2000):

- 3D model mesta Ljubljane (Mestna občina Ljubljana),
- 3D model Kostanjevice (Savaprojekt, d. d.) in
- 3D model Kopra z okolico (Harpha sea, d. o. o.).

Za izvorne podatke so uporabljali najrazličnejše vire kot so: digitalna zbirka mestnih topografskih načrtov, terenske meritve, aeroposnetki, ortofoto, talne fotografije, TTN 5, detajlni načrti ipd. ter izvajali lastne meritve. Izvorni podatki, ki se nanašajo na zemeljsko površje, bi bili dobrodošli za lokalno izboljšanje DMR.

C.25 REFERENČNI DMV

Namen in sam postopek izdelave referenčnega DMV (refDMV) sta podrobneje opisana med postopki predobdelave (razdelek 5.3.1.2), osnovni podatki o kakovosti pa v preglednici 37.

Oznaka podatka	novi DMR Slovenije (neformalno)
Proizvajalec	sam
Lastnik	
Izvor	DMR 100, DMR 25, TTN 5 (vektorizirane plastnice), DMR 10, DMR 10 mesta Ljubljane, GKB-relief, GKB-hidrografija, točke temeljnih geodetskih mrež, ZK-točke, CBPS
Način zajema	različno
Leto izvora/zadnje obnove	2001
Topološki tip	hibridna struktura (DMR) / celična mreža (DMV)
Merilo/ločljivost	20 m
Položajna točnost (horizontalna/vertikalna)	predhodna: 2 m / 3,5 m dejanska: 2 m / 3,03 m (ravninsko 1, gričevnato 2,5, hribovito 4,5, gorato 9)
Vizualna ocena	homogen
Popolnost (pokritost Slovenije)	~2 % Slovenije (10 testnih območij)
Cena izdelave/prodaje	40.000.000 SIT (predvidena) / –
Uporabnost za izdelavo DMR	testni DMR z možnostjo postopne izboljšave (torej kot vir za izboljšan DMR)
Opombe	rezultat doktorske disertacije; v konceptu izdelave DMR Slovenije je uporaben kot osnova za izdelek oz. izboljšan DMR

Preglednica 38: Opis kakovosti novega DMR Slovenije.

Dejanska ocena

Referenčni DMV se je izkazal vizualno-geometrično za dovolj homogenega in brez večjih grobih ali sistematskih napak. Vertikalna natančnost je bila nekoliko manjša od pričakovane, predvsem na račun pomanjkljivih podatkov v gorah. Podrobni statistični podatki dejanske ocene so navedeni v preglednici 7.

C.26 Novi DMR Slovenije

V tem dodatku obravnavamo tudi DMR Slovenije kot proizvod virov, opisanih v prejšnjih podrazdelkih. Kljub temu, da pravzaprav ne spada v ta dodatek, ga vseeno opisujemo, in sicer zaradi možnosti neposredne primerjave z drugimi, obstoječimi slovenskimi DMV. Novi DMR Slovenije je podrobneje opisan pri predstavitvi obstoječih DMR v Sloveniji. Glej tudi preglednico 38.

Dejanska ocena

Novi DMR Slovenije se je izkazal vizualno-geometrično za dovolj homogenega in brez večjih grobih ali sistematskih napak. Vertikalna natančnost je mejah pričakovanj.

D PROGRAMSKA OPREMA

Še pred opisom programske opreme si na kratko oglejmo strojno opremo. Kljub temu, da je strojna oprema igrala zelo pomembno vlogo predvsem pri preizkušanju zahtevnejših algoritmov, se vanjo ne poglabljam posebej. Vseeno velja omeniti, da delovanje nekaterih algoritmov ni bilo mogoče preizkusiti za celotno Slovenijo hkrati pri 800 MHz procesorju AMD Athlon in 512 MB pomnilnika ter na operacijskem sistemu Windows (Okna) 2000.

Za izvedbo disertacije sem napisal nekaj lastnih programov s programskim jezikom C. Pri tem gre predvsem za podporo izdelanim programom v primerih pomanjkanja nekaterih funkcij. Največji del kode za izdelavo disertacije sem napisal v makro jeziku AML programa Arc/Info. Izpisa omenjenih programskih kod zaradi preobsežnosti ne navajam, kljub temu pa se da rekonstruirati posamezne postopke glede na opise algoritmov in navedene vire. V nadaljevanju so opisani predvsem programi, ki so bili najpomembnejši pri izdelavi DMR. Na splošno ločimo programe za izdelavo DMR na:

- samostojne programe za izdelavo DMR in
- programe za izdelavo DMR, vključene v GIS.

Predvsem boljše programe za interpolacijo DMR so ponudniki sprva razvijali in distribuirali samostojno, neodvisno od druge programske opreme. Pri tem so izhajali iz različnih pristopov uporabe struktur, med katerimi sta najpogostejša vektorski TIN in rastrski zapis. V večino GIS so bili vgrajeni večinoma precej preprosti algoritmi za izdelavo DMR. Ker je DMR eden najpomembnejših slojev za analize v GIS, so začeli v zadnjem času nekatere boljše samostojne programe za izdelavo DMR vključevati in integrirati v GIS.

Preprostejše algoritme za izdelavo DMR, ki so vključeni v GIS, vsebujeta npr. Idrisi in ILWIS. Omenjena GIS-programa sta tudi relativno poceni. Precej dražji programi GIS vsebujejo zelo učinkovita orodja za izdelavo DMR. Intergraph, Microstation Terrain Analyst ima npr. TIN-generator Terrain Modeler. Omenjen program izdela na podlagi plastnic zelo dober TIN/DMR, pri čemer samodejno ustvarja značilne črte. DMR v obliki celične mreže lahko izdelamo učinkovito iz plastnic s programom GRASS, ki ga je razvila ameriška vojska za prostorsko planiranje in upravljanje s podatki okolja. V ta namen je uporaben modul 'r.surf.contour'. Do programa GRASS lahko dostopimo brezplačno in ima odprto kodo (*GRASS* 2001).

Najboljši programi za izdelavo DMR, so, kot je bilo omenjeno, najpogosteje samostojni. Ti programi so večinoma precej bolj specializirani kot tisti v GIS. Naj omenimo nekaj izmed njih. Program, ki izdeluje neposredno v celično mrežo zapisan DMR (DMV), je italijanski MDIP (Carrara et al. 1997). Uporablja tehniko interpolacije, ki naj bi se čim bolj prilagajala naravi. V odvisnosti od geomorfoloških lastnosti okolice interpolirane točke, uporablja različne algoritme. Med samostojne programe spada tudi avstralski ANUDEM, ki je dober predvsem za interpolacijo plastnic ob upoštevanju hidrologije. Omenjen program je kot modul Topogrid v nekoliko okleščeni verziji vključen tudi v Arc/Info. Poleg tega je za Arc/Info relativno učinkovit modul za izdelavo DMR impliciran v obliki TIN-generatorja. Izmed razširjenih samostojnih omenimo še Surfer (Golden Software) ter program SCOP, ki ga razvijajo v Stuttgartu in na Dunaju. Programe, ki so bili uporabljeni v sklopu disertacije, so obravnavani v nadaljevanju.

D.1 SCOP

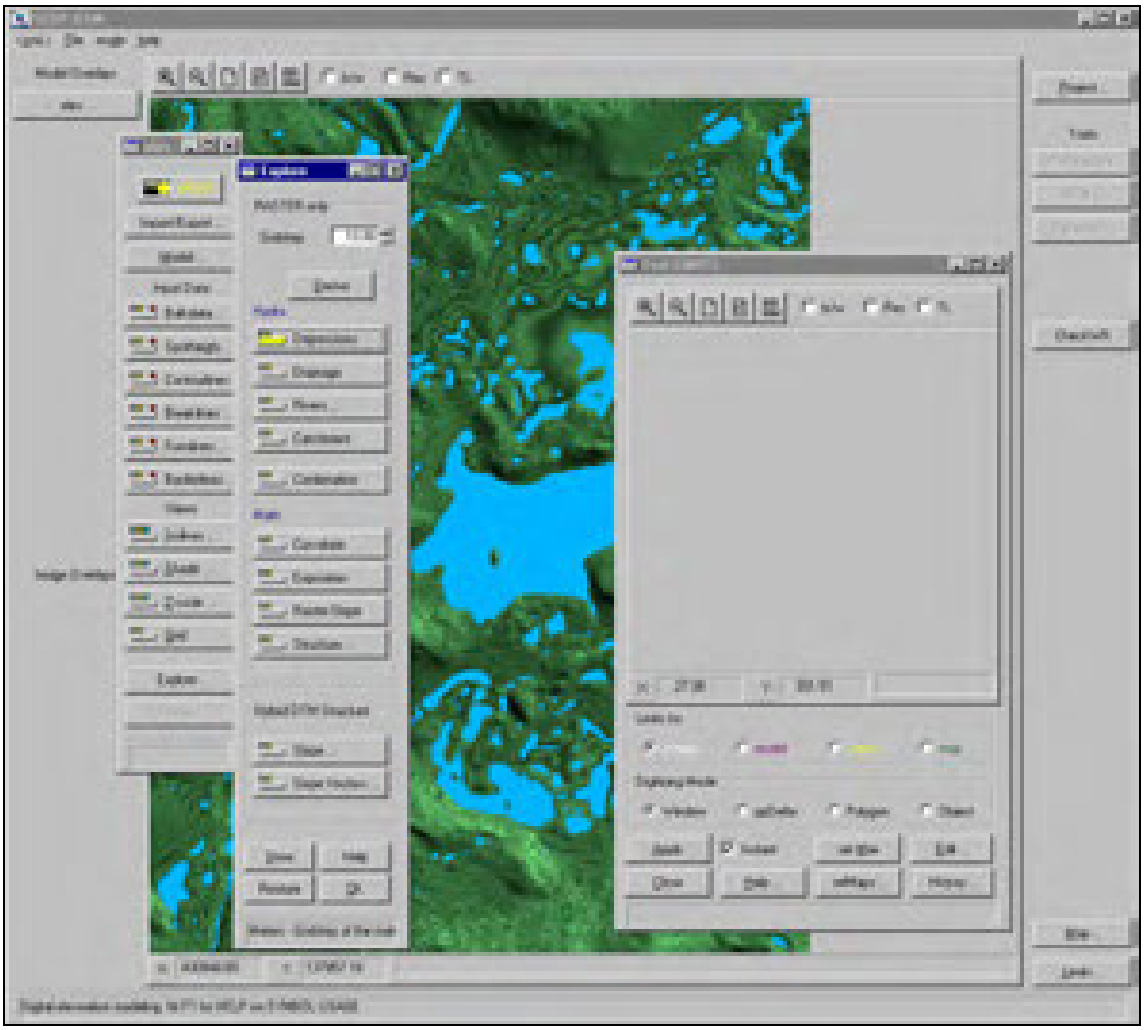
K. Kraus s skupino je leta 1972 v Ottawi predstavil program za izdelavo plastnic iz pravilnih fotogrametrično zajetih profilov, da bi tako kontroliral starejše instrumente. Problem so rešili z interpolacijo DMR ter izdelavo plastnic iz njega. Programsko opremo so imenovali 'Stuttgart COntouring Program' ali krajše SCOP. Sistem je z leti rasel in se izpolnjeval, ime pa je zaradi poznavanja v javnosti ostalo. Ime SCOP je torej vsaj za računalniške pojme že nekoliko zgodovinsko. K. Kraus je leta 1974 prenesel SCOP iz instituta v Stuttgartu (INPHO GmbH) tudi na Inštitut za fotogrametrijo in daljinsko zaznavanje Tehniške univerze na Dunaju (*SCOP* 2000).

SCOP vsebuje veliko modulov, izmed katerih jih je nekaj povezanih med seboj, nekateri pa so precej samostojni. Gre torej za sistem programov, ki omogoča izdelavo in uporabo DMR ali drugih ploskev. Module so izdelovali različni programerji in zanje programirali različne makro jezike. To povzroča precej zapleteno delo s programom. Celo na Inštitutu za fotogrametrijo in daljinsko zaznavanje Tehniške univerze na Dunaju je nemogoče najti človeka, ki bi obvladoval vse module. Leta 1992 so prav zaradi tega pod vodstvom L. Molnarja začeli razvijati objektno zasnovano okolje, ki bi povezovalo vse module v okolju Oken. Okolje, ki se imenuje SCOP++, je dobilo leta 2001 dokončno podobo, v nekaj naslednjih letih pa bo dokončano (slika 79).

V nadaljevanju so opisani posamezni moduli programa SCOP (*SCOP* 2000), ki smo jih uporabljali za izdelavo DMR:

- osnovni programi:
  - SCOP.DTM: interpolacija virov z 'linearno predikcijo', 'moving tilted plane' in 'moving average', izdelava sloja naklonov reliefa ipd. (algoritem linearne predikcije, ki smo ga največ uporabljali, je opisan v razdelku 4.4.2.1),
  - SCOP.ISOLINES: zelo dober program za izračun in izris plastnic,
  - SCOP.GVE: prikazovanje in grafično urejanje ter transformacije podatkov;
- programi za aplikacije:
  - SCOP.TDM: novejši modul za upravljanje s topografskimi podatki (predvsem s podatki za izdelavo DMR):
    - začeli so ga programirati leta 1993, leta 1995 je izšla prva verzija,

- do verzije 1.6 je zmogel le operacije v ukazni vrstici; naslednje verzije so bile narejene za okolje Oken,
- omogoča ustvarjanje kakršnekoli celične mreže iz DMR iz posameznega DMR ter izpis (ločitev) značilnih črt in točk iz DMR,
- omogoča združevanje več različnih DMR, če se med sabo prekrivajo po več kriterijih,
- omogoča pretvorbe med koordinatnimi sistemi,
- trenutno še ne zna uporabljati distribuirane zbirke podatkov, pomanjkljivost je tudi, da podpira le nekaj osnovnih formatov zapisa podatkov;



Slika 79: Okolje programa SCOP++.

- SCOP.PROFILES ali SCOP.PRO: za profile reliefa, analize vidnosti, izračun višin izbranih točk, izračun napak glede na referenčne podatke ipd.;
- SCOP.SLOPE: izdelava slojev naklonov reliefa;
- SCOP.PERSPECT: perspektivni prikaz DMR, izračun vidnosti;
- SCOP.INTERSECT: presek dveh slojev (tudi kombinacija raster-vektor), izračun volumnov;

  - SCOP.PIXEL ali SCOP.PIX: senčenje reliefa, pretvorba v rastrski format TIFF;
  - SCOP.TRI: novejši modul za triangulacijo virov, ki omogoča tudi izračun značilnih črt in točk ter izračun dodatnih točk;
- drugi koristni programi:
  - SCOP.ASCIIDTM: pretvorbe med formati;
  - SCOP.PLOT: izris rezultatov;
  - SCOP.DMS: podoben kot SCOP.GVE, le da je nekoliko bolj okoren in starejši modul ter da omogoča še nekatere druge funkcije;
- aplikacije (rutine), ki jih napišejo uporabniki.

Prednosti programa SCOP so naslednje:

- funkcija VARIGRID – možnost izdelave večločljivostnega DMR,
- veliko dodatkov, ki omogočajo izboljšanje virov (npr. odprava grobih napak, izračun dodatnih raztresenih točk, izračun značilnih črt in točk iz plastnic itd.) pri predobdelavi in učinkovitejša obdelava,
- interpolacija upošteva ostre robove površja, torej izdelavo zvezne in odsekoma gladke ploskve.

Pomanjkljivosti programa SCOP pa so naslednje:

- okorna in zahtevna uporaba programa;
- predvsem pri podatkih, ki niso dovolj homogeno porazdeljeni v prostoru, moramo pogosto opraviti kar nekaj poskusov, da dobimo zadovoljiv rezultat;
- delan je bil za pomnilniške zmogljivosti računalnikov pred desetimi in več leti:
  - to pomeni npr. relativno majhno število objektov oz. podatkov, ki jih lahko hkrati interpolira,
  - t. i. računske enote so za učinkovito interpolacijo pogosto premajhne (ali prevelike); rešitev je v variabilnosti velikosti, ki jo omogoča SCOP++; problem je tudi pri prekrivanju med računskimi enotami, saj so lahko stiki med njimi vidni;
- pri interpolaciji dobimo res dobre rezultate le pri virih, ki so relativno enakomerno prostorsko porazdeljeni – enakomerne gostote (to so predvsem podatki, ki jih npr. v avstrijski BEV pridobivajo s fotogrametričnim profiliranjem površja, kjer tudi npr. predhodno odstranijo točke v okolici značilnih črt površja);
- možna je napaka pri interpolaciji kombinacije značilnih črt in drugih točk (napako, ki se odraža pri vizualizaciji, sem odkril leta 1999 na Dunaju);
- okorno pretvarjanje med posameznimi formati zapisa podatkov, možne so tudi napake pri pretvarjanju (podobno kot npr. v programu Idrisi);
- pomanjkljivo je morda tudi to, da ne omogoča izrisa ploskve s podatki stopnje filtriranja posameznih podatkov pri interpolaciji.

Kljub temu da je navedenih več pomanjkljivosti kot prednosti programa, je SCOP za izdelavo DMR visoko zmogljiv program z mnogo algoritmi, ki so neprimerno boljši kot pri konkurenčnih programih.

DMR je zapisan kot relativno kompleksna hibridna struktura, ki kombinira vektorski in rastrski zapis (razdelek 4.3.4). Slika 80 prikazuje primer zapisa podatkov v formatu WINPUT, ki se ga navadno uporablja za zapis virov, pripravljenih za interpolacijo DMR. Zgornji del zapisa kod, ki se začnejo z 9, predstavlja glavo; podobno je tudi z zadnjo vrstico. V osrednjem delu je v prvem stolpcu koda, sestavljena iz dveh delov. Prvi del je dvomestna številka (v našem primeru 40, ki pomeni tip značilne črte), v drugem delu pa je zaporedna številka črte (v našem primeru sta dve plastnici). Zadnji trije stolpci predstavljajo zapis koordinat v obliki *y*, *x*, *H*.

```
99999991        .000        .000        .000
       1        .000        .000        .000
99999992        .000        .000        .000
       1        .000        .000        .000
       0        .000        .000        .000
       1        .000        .000        .000
       0        .000        .000        .000
99999998        .000        .000        .000
40000001  535341.130   81577.220     155.000
40000001  535326.310   81570.550     155.000
40000001  535307.310   81577.220     155.000
40000002  539099.310   82436.240     175.000
40000002  539103.000   82432.950     175.000
40000002  539126.880   82412.050     175.000
40000002  539142.880   82404.070     175.000
99999999        .000        .000        .000
```

Slika 80: Zapis podatkov, kodiranih kot značilne črte v formatu WINPUT programa SCOP.

D.2 ARC/INFO, ARCVIEW

Arc/Info in ArcView sta programa GIS ameriškega podjetja ESRI. Arc/Info 7.2.1 je relativno sposobno, a okorno GIS-orodje, ArcView pa precej manj sposobno, vendar uporabniku nekoliko prijaznejše. Pred časom so izdelali Arc/Info 8.1, ki omogoča delo v okolju Oken, vendar ga nisem imel na razpolago. V makro jeziku AML Arc/Infa sem napisal programe za predobdelavo ter izvajal nekatere postopke obdelave. ArcView 3.1 je z dodatnimi moduli (v našem primeru predvsem z moduloma Spatial Analyst in 3D Analyst) predvsem učinkovito orodje za vizualizacijo rezultatov analiz ter za kartiranje.

D.3 TOPOGRID (ANUDEM)

ANUDEM je konec osemdesetih let prejšnjega stoletja zasnoval M. F. Hutchinson iz Centra za študije virov in narave (CRES) na Avstralski nacionalni univerzi v Canberri (Hutchinson 2000). Program je pri uporabi raztresenih točk, plastnic in rečne mreže namenjen interpolaciji zvezne in gladke ploskve DMR. Nekoliko okleščena verzija je vključena v rastrski del Arc/Infa kot modul Topogrid (*Arc/Info* 1998). Princip interpolacije je opisan v razdelku 4.4.2.2. Predvsem zaradi vključitve v tako popularen program GIS, je bil uporabljen pri marsikateri aplikaciji, med drugimi tudi pri izdelavi globalne-

ga digitalnega modela višin GTOPO30/GLOBE. Prednosti programa Topogrid so naslednje:

- vpetost v program GIS, kar omogoča enostavno upravljanje,
- enostavnost izdelave DMV,
- predvidljivi rezultati, ki tudi v najslabšem primeru ne dajo neuporabnih rezultatov,
- enostavna vključitev hidroloških analiz.

Pomanjkljivosti programa Topogrid pa so naslednje:

- manjka možnost posebne obravnave nekaterih struktur podatkov, kot so npr. značilne črte in točke,
- ni možnosti izbire posebnih parametrov interpolacije za posamezne skupine podatkov,
- podatki ne morejo biti zapisani v obliki treh razsežnostih (črte rečne mreže z atributi višin npr. topološko niso možne),
- enotna ločljivost za ves sloj (omejitev na ločljivost celične mreže), kar lahko povzroči nejasno modelirane značilnosti reliefa.

E TERMINOLOGIJA

Zaradi poenotenja izrazja v disertaciji in enostavnejšega sporazumevanja podajam besednjak najpogosteje uporabljanih pojmov (dodatek E.1). Pri tem podajam za iste pojme več definicij, ki so lahko enakovredne, še večkrat pa se nanašajo na probleme med seboj sorodnih strok geodezije, geografije, daljinskega zaznavanja, statistike ipd. V takih primerih so večinoma navedene definicije, ki se navezujejo na tematike, s katerimi se ukvarjam v disertaciji. Zaradi boljšega prepoznavanja so vsi pojmi podani v slovenskem in angleškem jeziku, opis pa je samo v slovenščini. Navedeno literaturo sem uporabil le kot izhodišče za opise pojmov in je nisem dobesedno citiral. V drugem delu (dodatek E.2) je dodan spisek krajšav, največkrat matematičnih oznak, uporabljenih v disertaciji. V tretjem delu (dodatek E.3) pa je spisek uporabljanih kratic, ki so opisane v slovenščini in angleščini. Če obstaja kratica v obeh jezikih, potem je v disertaciji uporabljena slovenska verzija.

E.1 BESEDNJAK POJMOV

Pojem	*Angleški izraz*	*Opis*	*Vir*
abstrakcija	abstraction	(1) Nestvarno, težko razumljivo. Naše dojemanje stvarnosti. (2) Specifikacija vsebine. Načelo in postopek izbire pomembnih lastnosti pojavov oz. objektov glede na njihovo določeno uporabo ali namen.	*CEN* 1994–1998; Kvamme et al. 1997
algebra karte	map algebra	Kartografsko modeliranje v GIS. Izvajanje aritmetičnih operacij nad posameznimi mrežnimi celicami enega ali več (rastrskih) podatkovnih slojev. K operacijam več podatkovnih slojev spada utežno seštevanje slojev. *Glej* utežna sredina, logično prekrivanje, matematično prekrivanje.	Kvamme et al. 1997; Tomlin 1990

Pojem	*Angleški izraz*	*Opis*	*Vir*
analitične operacije	analytical operations	Analitične operacije v prostorskih analizah GIS (predvsem algebra karte in Boolova algebra): klasifikacija in preklasifikacija, prekrivanje, geometrične operacije in analize sosedstva. *Glej* algebra karte.	
analiza trenda ploskve	surface trend analysis	Globalna točkovna metoda interpolacije, ki sloni na analizi večkratne (oz. multiple) regresije. Tudi del interpolacije kriging. *Glej* interpolacija, kriging.	
antropogene danosti		Sestavine prostora, katerih nastanek in obstoj ni spontan, temveč je posledica človekovega delovanja v prostoru.	
avtokorelacija	autocorrelation	Mera stopnje vpliva porazdelitve podobnih objektov (iste spremenljivke) v okolici (različne lokacije) določenega objekta. V GIS gre za prostorsko avtokorelacijo, ki temelji na predpostavki večje verjetnosti glede podobnosti položajev (in atributov) v prostoru, če so si ti blizu skupaj (in nasprotno). Spremenljivka je pri tem podatkovni sloj.	Longley et al. 2001, 101
ažurnost	currency	Dejanskost, aktualnost. Z vidika kakovosti je to pravilnost glede na vso množico podatkov v danem trenutku *t* (npr. zdaj). *Glej* časovna natančnost.	*CEN* 1994–1998
celična mreža, grid, (kvadratasta celična mreža, pravilni grid)	grid network, grid, (square/regular grid)	Množica točk, ki glede na razporeditev teselirajo površino pravilno ali približno s pripadajočimi mrežnimi celicami. Podatki so v obliki celične mreže zapisani tako, da so primerni za obdelavo (analize) v GIS. *Glej* raster, mrežna celica, mreža točk, nepravilna trikotniška mreža, hibridna struktura, vektorska struktura.	*Arc/Info* 1998; Burrough in McDonnell 1998; *USIGS Glossary* 1998
časovna natančnost	temporal accuracy	Element kakovosti. Podaja pravilnost časovnih zapisov zbirke (geografskih) podatkov. *Glej* natančnost, ažurnost, kakovost.	*CEN* 1994–1998; *ISO/DIS 19113* 2001
črta, linija	line	Grafični objekt v GIS. Enorazsežni objektni (geometrični in topološki) tip, ki podaja neposredno (ravno) povezavo med zaporedjem lomnih točk ter vsebuje niz daljic. *Glej* točka, območje, značilna črta, daljica.	Kvamme et al. 1997, 322; *CEPP* 1997–2000
črtkanje	hachuring	Označevanje naklonov površja ali smeri naklona površja s črtkami (topografski znaki). Najbolj znan je Lehmanov pristop, ki uporablja enake razdalje črt z različnimi debelinami.	Robinson et al. 1995, 502, 537

Pojem	*Angleški izraz*	*Opis*	*Vir*
daljica	line segment, straight line segment	Segment. Grafični objekt v GIS. Enorazsežni objektni (geometrični in topološki) tip, ki podaja neposredno (ravno) povezavo med dvema (lomnima) točkama. *Glej* črta.	*CEPP* 1997–2000
daljinsko zaznavanje	remote sensing	(1) Daljinsko zaznavanje je znanost (v manjši meri tudi umetnost) pridobivanja informacij o površju Zemlje, ne da bi z njo prišli v neposredni stik. Pri tem zaznavamo in zapisujemo odbito ali sevano elektromagnetno valovanje, ga obdelujemo, analiziramo in uporabimo v različnih aplikacijah. (2) V ožjem smislu: merjenja s sateliti in iz zraka (letala, helikopterji, baloni itd.).	Kvamme et al. 1997; Oštir 2000; Rihtaršič in Fras 1991
deduktivnost	deduction	V disertaciji gre največkrat za t. i. naravno dedukcijo. Dedukcija je tehten dokaz, v katerem predpostavki sledi zaključek. *Glej* empiričnost.	Diantith in Nelson 1989
deterministični pristop	deterministic approach	Izkorišča abstrakcijo in splošnost analitične matematike, ko ta odpoveduje. Nanj se naslanjajo npr. metode Monte Carlo. *Glej* abstrakcija.	Hammersley in Handscomb 1965
digitalizacija	digitalisation	Pretvorba analogne grafične predloge v digitalno obliko ročno z digitalnikom (digitalizacija v vektorsko strukturo) ali samodejno s skenerjem (digitalizacija v rastrsko strukturo). *Glej* vektorizacija, skeniranje, rastriranje.	*CEPP* 1997–2000
digitalni model reliefa (DMR)	digital terrain model (DTM)	Kompleksna predstavitev površja, ki vsebuje višinske točke površja, značilne točke in črte ter druge geomorfološke značilnosti. *Glej* značilna točka, značilna črta, značilno območje, geomorfologija, digitalni model višin, model.	Kvamme et al. 1997
digitalni model višin (DMV)	digital elevation model (DEM)	To je enostaven način zapisa točk reliefa, največkrat rastrski, v pravilni mreži kvadratnih celic, kakršen je primeren za uporabo v orodjih GIS. DMV je pomensko ožji od DMR in vsebuje samo višine točk. *Glej* digitalni model reliefa, model, mrežna celica, zvezne vrednosti.	*CEPP* 1997–2000; Kvamme et al. 1997; Rihtaršič in Fras 1991
distribuirana zbirka podatkov	distributed database	Fizična porazdelitev ene ali več zbirk podatkov na več računalnikov, povezanih v omrežje, katerega arhitektura je nevidna za uporabnike, ki jih morajo videti kot logično celoto.	*CEPP* 1997–2000
DMR	DTM	*Glej* digitalni model reliefa.	
DMV	DEM	*Glej* digitalni model višin.	
dno vrtače, odtočna točka	sinkhole, low point, pit point	Značilna točka zemeljskega površja. Negativni ekstrem oz. najnižja točka. *Glej* značilna točka, vrtača.	*SSKJ* 1970–1991

Pojem	*Angleški izraz*	*Opis*	*Vir*
dolina	valley	Značilna oblika zemeljskega površja. Položen pas nižjega sveta z enosmernim naklonom, običajno ob vodnem toku. Posebne oblike dolin so: soteska, vintgar, korito, grapa itd. Nižje, podolgovato površje med griči, hribi ali gorami. *Glej* značilno območje, dolinska črta.	*SSKJ* 1970–1991; Furlan et al. 2001
dolinska črta	valley line	Značilna črta zemeljskega površja. Črta, po kateri teče ali bi tekel potok ali reka. Kadar dolina odvaja vodo, jo lahko imenujemo tudi odvodnica. *Glej* značilna črta, dolina, odvodnica.	
elipsoidna višina	ellipsoid height	Geodetska višina *h*. Višina, merjena po normali med dano točko in ustrezno točko na referenčnem elipsoidu. *Glej* srednja višina morja, geoidna višina, nadmorska višina, referenčni elipsoid, geoid.	*GG* 1986
ekstrapolacija	extrapolation	Približek vrednosti atributa nevzorčenih vrednosti iz meritev zunaj njihove okolice. *Glej* interpolacija.	Burrough in McDonnell 1998
ekvidistanca	contour interval	Razlika nadmorskih višin med dvema sosednjima glavnima plastnicama. *Glej* plastnica.	*USIGS Glossary* 1998
elementi kakovosti	quality elements	Informacije, ki opisujejo kakovost zbirke (geografskih) podatkov: popolnost, logična usklajenost ter položajna, časovna in tematska natančnost. *Glej* kakovost.	*CEN* 1994–1998; *ISO/DIS 19113* 2001
empiričnost	empirical	Dobljeno z opazovanjem ali s poskusi oz. z izkustvi in ne deduktivno glede na osnovne zakone in izhodišča. *Glej* deduktivnost.	Diantith in Nelson 1989
entiteta	entity	Danost, svojskost. Pojav ali objekt. Karkoli obstoječega, ki ima lastno identiteto in značilnosti. *Glej* objekt, prostorski objekt.	Kvamme et al. 1997
filtriranje	filtering	Iskanje in odstranjevanje napak, redukcija podatkov, glajenje DMR.	Rihtaršič in Fras 1991
fotogrametrija	photogrammetry	Veda, ki se ukvarja z razpoznavanjem fizičnih dimenzij objektov z meritvami na podobah. *Glej* podoba.	*GG* 1986
fraktal	fractal	Krivulja ali ploskev, ustvarjena s ponavljajočim se postopkom, ki vključuje zaporedno (sukcesivno) razpolavljanje. Glavna lastnost fraktalov je samopodobnost pri kakršni koli ločljivosti, kar pomeni, da vsebuje vsak del krivulje (ali ploskve) strukturo celotne krivulje (ali ploskve). Fraktali ponujajo odgovore na mnoga neodgovorjena vprašanja iz naravoslovnih znanosti, npr. glede strukture reliefa.	Diantith in Nelson 1989

Pojem	*Angleški izraz*	*Opis*	*Vir*
frekvenca	frequency	Pogostost, število pojavov (enot) v posamezni skupini ali razredu.	Košmelj et al. 1993
Gauss-Krügerjeva projekcija	Gauss-Krüger map projection	Kartografska projekcija Zemljinega elipsoida na plašče valjev (valjčna), katerih osi leže na ravnini ekvatorja (prečna), Zemljo pa oklepajo po meridianskih conah širine 3°. Modul merila je 0,9999. Pri preslikavi ohranja kote (konformnost), dolžine pa samo vzdolž dotikalnih meridianov. V Sloveniji je temelj državnega koordinatnega sistema (DKS), ki sloni na Besslovem referenčnem elipsoidu (horizontalni datum). *Glej* UTM, kartografska projekcija, koordinatni sistem.	*CEPP* 1997–2000
geodetski datum	geodetic datum	(1) Splošno: količina ali več količin, ki so uporabljene kot referenca ali osnova za umestitev koordinatnega sistema v prostor. (2) Razmerje med krajevnim elipsoidom in globalnim referenčnim sistemom. Določen je najmanj s petimi parametri: velikostjo večje osi elipsoida, njegovo sploščenostjo ter tremi smermi premikov izhodišča. *Glej* referenčni elipsoid, nadmorska višina, reper.	*GG* 1986; *ISO/DIS 19111* 2001
geodezija	geodesy	Veda, ki se ukvarja z merjenjem in predstavitvijo Zemlje ter njenega gravitacijskega in magnetnega polja. Za doseganje dovolj velike kakovosti meritev pri geodetskih delih se uporablja najboljše instrumente, postopke in operaterje.	
geografska enota	geographic unit	Povezava (naj)večjega števila točk z vnaprej določeno skupno značilnostjo. *Glej* značilno območje.	*CEPP* 1997–2000
geografska informacija	geographic(al) information	Informacija, ki se nanaša na pojav (fenomen) in se glede na zemeljsko površje posredno ali neposredno povezuje s položajem v prostoru.	*CEN* 1994–1998
geografski informacijski sistem (GIS)	geographic(al) information system (GIS)	(1) Klasična definicija GIS: sistem za zajemanje, shranjevanje, vzdrževanje, obdelavo, povezovanje, analiziranje in predstavitev geokodiranih prostorskih podatkov. GIS sestavljajo strojna oprema, sistemska in specifična programska oprema, uporabniške aplikacije, integrirana zbirka podatkov prostorskih podatkov, vzdrževalci in uporabniki informacijskega sistema. (2) Novejša definicija: vsaka izpolnitev sprejemljivih delov »OpenGIS konzorcija« glede na želeno funkcionalnost.	Goodchild in Kemp 1990; *CEPP* 1997–2000; Gould in Herring 2001

Pojem	*Angleški izraz*	*Opis*	*Vir*
geoid	geoid	Telo, omejeno z referenčno ekvipotencialno ploskvijo Zemlje. Obliko geoida na morju določa površje mirujočih oceanov, pod kopno pa je podaljšan tako, da je ploskev povsod pravokotna na navpičnico. Razlika med elipsoidom in geoidom znaša do 100 m. *Glej* referenčni elipsoid, nadmorska višina.	*GETS* 1998
geoidna višina, geoidna undulacija	geoid undulation	Razlika med višinama točk nad geoidom in elipsoidom. *Glej* nadmorska višina, srednja višina morja, referenčni elipsoid, geoid.	
geomatika, geoinformatika	geomatics, geoinformatics	Veda, ki združuje informatiko in geoznanosti, kot so npr. geografija, geodezija in geologija. Je področje dejavnosti, ki uporablja sistematični pristop za integracijo vseh sredstev za zajemanje in upravljanje prostorskih podatkov, ki so potrebni kot del znanstvenih, administrativnih, pravnih in tehničnih operacij, vključenih v postopek proizvodnje, uporabe in upravljanja prostorskih informacij.	*CEPP* 1997–2000
geomorfologija	geomorphology	Veda o oblikovanosti in strukturi zemeljskega površja in njenih spremembah. Pri izdelavi DMR upoštevamo geomorfološke lastnosti oz. oblikovanost površja na dva osnovna načina: (1) s parametri, ki vplivajo na ukrivljenost ploskve modeliranega reliefa in (2) z zgoščevanjem točk in črt podatkov virov oz. vključevanjem geomorfoloških značilnosti v TIN ali hibridno strukturo. *Glej* digitalni model reliefa (DMR).	*NASA* 1995; *SSKJ* 1970–1991
geostatistika (prostorska statistika)	geostatistics	V osnovi gre za statistiko, ki se nanaša na Zemljo. Po Hartu (1954) je ta pojem povezan v geografskem smislu in predstavlja statistične tehnike, ki predstavljajo lokacije znotraj porazdelitve ploskve. Po Matheronu (1962) naj bi se geostatistika nanašala na geologijo, in sicer na podatke v telesu Zemlje (ruda). Danes jo definiramo bolj univerzalno kot statistično teorijo na prostorskih zveznih ploskvah.	Cressie 1993, 29
GIS	GIS	*Glej* geografski informacijski sistem.	
gorovje	mountains	Značilno območje zemeljskega površja. V zaključeno celoto povezane gore. Zelo razgibano zemeljsko površje. *Glej* značilno območje.	*SSKJ* 1970–1991; Furlan et al. 2001
GPS	GPS	*Glej* sistem globalnega določanja položaja.	

Pojem	*Angleški izraz*	*Opis*	*Vir*
gravitacijski potencial, geopotencial	gravitational potential, geopotencial	Gravitacijski potencial je gradient skalarnega polja, ki ga gravitacijsko polje povzroči točkastemu masnemu telesu v njem. Vsota gravitacijskega potenciala Zemlje in centrifugalnega potenciala v neki točki imenujemo težnostni potencial. Pogosto govorimo o potencialu oz. razliki potencialov kot o razliki med dvema geopotencialnima ploskvama.	*GG* 1986
greben, sleme	ridge, crest	Tudi podmorski greben (angl. reef). Značilna oblika zemeljskega površja. Podolgovata, ozka izboklina. Sleme je lahko poraslo s travo ali gozdom, greben pa ne. Greben je ozko gorsko skalnato sleme z zelo strmimi pobočji. Šija je greben od sedla do vrha. *Glej* značilna črta, grebenska rez.	*SSKJ* 1970–1991; Furlan et al. 2001
grebenska rez	ridge line	Značilna črta zemeljskega površja. Del, kjer se stikata boka grebena. V disertaciji je uporabljen poenostavljen izraz greben. *Glej* greben.	*SSKJ* 1970–1991
gričevje, brda	low hills	Značilno območje zemeljskega površja. V zaključeno celoto povezani griči/brda. Rahlo razgibano zemeljsko površje. Brda so navadno nekoliko nižja od gričev. Geografsko štejemo med griče izbokline, ki dosežejo višinske razlike med 150 in 200 m. *Glej* značilno območje, hribovje.	Perko 1998; *SSKJ* 1970–1991; Furlan et al. 2001
hibridna struktura	hybrid structure	Način topološke organizacije. Kombinacija pristopov celične mreže in vektorske strukture. *Glej* celična mreža, nepravilna trikotniška mreža, vektorska struktura.	
hidrologija	hydrology	Veda o vodovju, vodopisje, hidrologija.	
hribovje	hills	Značilno območje zemeljskega površja. V zaključeno celoto povezani hribi. Geografsko štejemo med hribovja izbokline, ki dosežejo višinske razlike med 200 in 1500 m. *Glej* značilno območje, gričevje.	*SSKJ* 1970–1991; Furlan et al. 2001
informacija	information	Miselni pomen, ki ga ljudje pripisujejo podatkom z znanimi uporabljenimi načini njihove interpretacije in predstavitve. *Glej* podatek.	*CEPP* 1997–2000
interferometrija	interferometry	Postopek obdelave kompleksnih radarskih posnetkov (podob), pri katerem dobimo višine nad referenčnim elipsoidom ali opazujemo majhne premike zemeljskega površja iz razlike njihovih faz.	Oštir 2000
interpolacija	interpolation	Približek vrednosti atributa nevzorčenih vrednosti iz meritev v njihovi okolici. *Glej* ekstrapolacija.	Burrough in McDonnell 1998

Pojem	*Angleški izraz*	*Opis*	*Vir*
kakovost	quality	Kvaliteta. Model kakovosti geografskih podatkov. (1) Primernost za uporabo (angl. fitness for use). (2) Daljše: značilnost, ki je nujna za opredelitev primernosti podatkov za uporabo. (3) Vsi prostorski objekti in lastnosti, ki predstavljajo zmožnost za zadovoljitev postavljenih ali vsebovanih potreb. (4) Razlika med zbirko podatkov in področjem obravnave, ki pove, kakšna je kakovost. *Glej* elementi kakovosti, področje obravnave, natančnost, točnost, napaka, nedoločljivost (zbirke podatkov), zmožnost abstrakcije.	*CEN* 1994–1998; *ISO/DIS 19111* 2001
karta, zemljevid	map, chart (pomorska karta)	V večjih merilih tudi načrt. Pomanjšan, posplošen, pogojno deformiran in ustrezno pojasnjen prikaz površja Zemlje, nebesnih teles ali neba v ravnini, kakor tudi objektov, stanj in pojavov, povezanih z njimi. Nastopa lahko v vizualni, digitalni ali taktilni (otipni) obliki. Delimo jih lahko na realne (npr. list karte, računalniško izrisana karta, globus, reliefni model) in navidezne (digitalna karta, DMR, zaslonska karta, kartografska zbirka podatkov, animirana karta, miselna karta). Med realnimi kartami so vse fizično otipljive in vidne, med navideznimi pa le nekatere. Lahko jih delimo tudi na topografske in tematske. *Glej* kartografija, kartografska projekcija, koordinatni sistem.	*CEPP* 1997–2000; Peterca et al. 1974, 437
kartografija	cartography	Veda med znanostjo in umetnostjo, ki se ukvarja z izdelavo kart (zemljevidov). *Glej* karta, kartografska projekcija, koordinatni sistem.	*GG* 1986
kartografska projekcija	cartographic (map) projection	Matematični model, ki preslika del zemeljskega površja iz sferičnih (geodetskih) v ravninske koordinate. Dobljene dvorazsežne koordinate predstavljajo trirazsežne objekte. Nekatere preslikave ohranjajo kote (konformnost), druge površine (ekvivalentnost), tretje razdalje (ekvidistančnost), četrte smeri. *Glej* koordinatni sistem, Gauss--Krügerjeva projekcija.	*GIS Glossary* 1997; *ISO/DIS 19111* 2001
klasifikacija, delitev v razrede	classification	Določanje meja razredov, členitev. Analitična operacija združevanja zveznih ali tematskih vrednosti v razrede. Postopek je preprostejši od regionalizacije. *Glej* preklasifikacija, regionalizacija.	Hrvatin in Perko 2000b
kombinirano vzorčenje	composite sampling	Sestavljeno vzorčenje. Fotogrametrična metoda zajemanja podatkov, ki združuje dinamično merjenje točk na celični mreži in vzorčenje točk na značilnih oblikah površja. Glej značilna točka, značilna črta, selektivno vzorčenje, stopnjujoče vzorčenje.	Makarovič 1977; Rihtaršič in Fras 1991

Pojem	*Angleški izraz*	*Opis*	*Vir*
kontingenčna tabela	contingency table	Obrazložitev korelacije med dvema ali več podatkovnimi sloji v GIS z nominalnimi vrednostmi.	
koordinatni sistem	coordinate system	(1) Množica (matematičnih) pravil za podroben opis koordinat kot točk. (2) Sistem, ki ga uporabljamo za opis horizontalnih (ravninski koordinatni sistem) in navpičnih razdalj (višinski koordinatni sistem). Enoten koordinatni sistem se uporablja za prostorsko registracijo geografskih podatkov na istem območju. (3) Širši pomen: koordinatni sistem vsebuje enote in parametre, ki so definirani s kartografsko projekcijo. *Glej* kartografska projekcija, Gauss-Krügerjeva projekcija.	*GIS Glossary* 1997; *ISO/DIS 19111* 2001, 2
kóta, višinska točka	spot elevation, spot height, hill number	Točka, posebnega pomena, z oznako nadmorske višine (navadno jih določijo geodeti). Pogosto ležijo na vrhovih gora, križiščih cest, prelazih (sedlih) ipd. Na kartah so označene s točkovnimi znaki in s pripisom nadmorske višine. *Glej* značilna točka, vrh.	*GG* 1986
kotlina, kotanja	basin	Značilno območje zemeljskega površja. Nižji, zaprt svet med hribi, gorami. *Glej* značilno območje.	*SSKJ* 1970–1991
kras	karst, kras	Svet z značilnimi oblikami, nastalimi zaradi mehanskega in kemičnega delovanja vode na apnenec. Zanj so značilni kraški pojavi. *Glej* značilno območje.	*SSKJ* 1970–1991
kriging, linearna predikcija	kriging, linear prediction	Interpolacijska metoda, ki jo lahko štejemo med približne ali celo točne. Je prefinjena in zapletena metoda lokalne (lahko pa tudi globalne) točkovne interpolacije. V geostatistiki je znana pod imenom 'kriging', v programu SCOP pa kot 'linearna predikcija'. *Glej* analiza trenda ploskve, interpolacija.	Burrough in McDonnell 1998; Kraus 1998
laser	laser	(iz angl. Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Naprava, ki oddaja curek zelo vzporedne enobarvne svetlobe (ozek spektralni pas), vzbujene z elektronskim, ionskim ali molekularnim preskokom energijskega stanja.	*Kvarkadabra* 2000

Pojem	*Angleški izraz*	*Opis*	*Vir*
ločljivost (resolucija)	resolution	GIS pogosto govorimo o prostorski ločljivosti. (1) Število pik, prikazanih na neko enoto. (2) Merilo, ki podaja razmerje med velikostjo mrežne celice v zbirki podatkov in v naravi. (3) Najmanjša prikazana enota ali najmanjša možna mera, ki jo zmoreta npr. skener ali digitalnik. (4) Najmanjša razdalja med dvema predmetoma, ki ju med seboj ločimo. (5) Velikost detajla, ki ga lahko razločimo v prostoru, času ali tematiki. *Glej* merilo.	*CEN* 1994–1998; Veregin in Hargatai 1995, 180; Kvamme et al. 1997, 470; Longley et al. 2001, 151
logična usklajenost	logical consistency	Element kakovosti. Doslednost, čvrstost, konsistenca. Opisuje stopnjo skladnosti zbirke (geografskih) podatkov glede na področje obravnave oz. podvrženosti logičnim pravilom o strukturi, atributom in relacijam. *Glej* topologija.	*CEN* 1994–1998; *ISO/DIS 19113* 2001
logično prekrivanje	logical overlay	Logično prekrivanje je del analitičnih operacij v prostorskih analizah GIS. Uporablja Boolovo algebro na dvojiško podanih slojih. *Glej* algebra karte, matematično prekrivanje.	
lomna črta, prelomnica	breakline (geogr.), faultline (geol.)	(1) Geografsko: značilna črta površja, ki »ostro«, z robom lomi ploskev reliefa. Pri tem ploskev reliefa ni več gladka. (2) Geološko: črta, ob kateri se prelomi del zemeljskega površja. *Glej* značilna črta, oblikovna črta.	*SSKJ* 1970–1991
matematično prekrivanje	mathematical overlay	Tudi aritmetično prekrivanje. Analitična operacija prekrivanja podatkovnih slojev v GIS. *Glej* algebra karte, logično prekrivanje.	
mehka množica, mehka logika	fuzzy set, fuzzy logic	Posplošitev Boolove algebre. Uporaba v teoriji mehkih množic oz. pri mehki logiki.	
merilo	scale	Razmerje med vrednostima *a* in *b*. Pri tem je *b* dolžina značilne dimenzije obravnavanega objekta in *a* odgovarjajoča dimenzija predstavitve omenjenega objekta na karti ali modelu. *Glej* ločljivost.	*GG* 1986
metapodatki	metadata	Kratko: podatki o podatkih. Podatki, ki vsebujejo informacije o podatkih. Podatki o zbirkah podatkov v povezavi z uporabo podatkov.	*CEN* 1994–1998; Chou 1997, 393; *ISO/DIS 19113* 2001
metoda grobe ocene	robust estimation method	Temelji na statističnem izločanju tistih točk, ki preveč odstopajo od ploskve DMR oz. niso dovolj avtokorelirane.	Kraus in Pfeifer 1998; Kraus in Rieger 1999; *SCOP* 1999

Pojem	*Angleški izraz*	*Opis*	*Vir*
metoda hkratne interpolacije	method of simultaneous sources interpolation	Interpolacija vseh virov hkrati, ne glede na njihovo kakovost. Pri tem se upoštevajo uteži kodiranih podatkov in gostota virov. *Glej* interpolacija, kriging, metoda utežnega seštevanja.	
metoda utežnega seštevanja	weighted sum method	Interpolacija skupin virov, zapisanih v obliki zveznih slojev. Pri tem se pri utežnem seštevanju zvezno upoštevata kakovost in geomorfološke lastnosti virov. *Glej* interpolacija, utežna sredina, metoda hkratne interpolacije.	
metode Monte Carlo	Monte Carlo methods	Vključujejo premišljeno uporabo naključnih števil pri ovrednotenju strukture stohastičnega procesa. Slučajnega pojava pri teh metodah ne opisujemo z analitičnimi zvezami, ampak s simulacijami. *Glej* stohastika.	Kalos in Whitlock 1986, 2; Vukadinović in Popović 1989
model	model	Modeliranje. (1) Nadomestilo, ki ga sestavlja opisna in grafična predstavitev dela stvarnosti in podaja preslikavo (modeliranje) fizičnega okolja v smiselni in interpretirani model. Pri tem gre lahko za neprostorsko ali prostorsko modeliranje. (2) Predstavitev dela ali celotnega zapletenega sistema. *Glej* digitalni model reliefa, digitalni model višin.	*CEPP* 1997–2000
mozaičenje	mosaicking, blending (s prekrivanjem)	Spajanje posameznih slojev brez ali z delnim prekrivanjem (sosednja območja, ista območja – vzporedno). Uporabno je pri spajanju več slojev DMR v en sloj, pri čemer postanejo območja prekrivanja na stikih slojev zvezna.	
mreža točk	lattice	Interpretacija rastrskega zapisa, pri čemer osnovna enota ni celica, temveč praviloma njena središčna točka. Posamezne točke so med seboj povezane mrežo. *Glej* celična mreža, raster.	*Arc/Info* 1998
mrežna celica	grid cell	Najmanjši nedeljivi ravninski, navadno kvadratni element celične mreže, katerega velikost v naravi določi uporabnik glede na želeno podrobnost (ločljivost) podatkov, ki se geometrično nanašajo na notranjost (središče) ali vogale posameznih celic, vsebinsko pa na povprečno stanje objektov ali pojavov znotraj celice. *Glej* celična mreža, digitalni model višin, raster.	*CEPP* 1997–2000
nadmorska višina	height above sea level, elevation	Ortometrična višina *H*. Razdalja v smeri zenita med zgornjim in spodnjim (nivo morja) delom objekta. Višina, merjena po težiščnici med dano točko in ustrezno točko na ničelni nivojski ploskvi geoida. *Glej* srednja višina morja, geoidna višina, elipsoidna višina, referenčni elipsoid, geoid.	*GG* 1986

Pojem	*Angleški izraz*	*Opis*	*Vir*
nadvišanje	exaggeration	Konstanta ali faktor, s katerim pomnožimo nadmorsko višino površja, da dobimo bolj plastičen prikaz.	
naključna porazdelitev	random distribution	Ena izmed prostorskih porazdelitev točkovnega vzorca.	
naključna števila	random numbers	Ločimo: resnična, psevdo- in kvazinaključna števila.	
naklon površja	terrain slope, inclination	Kot med krajevno normalo tangentne ravnine na ploskev in vertikalo.	
namen	purpose	Pregledni element kakovosti. Opisuje temelj izdelave prostorskih podatkov in vsebuje informacijo o namenu uporabe. *Glej* kakovost, uporaba, poreklo.	*ISO/DIS 19113* 2001
napaka	error	Odklon, odstopanje. Razlika med področjem obravnave in opazovano vrednostjo. Pogosto jih opredelimo kot grobe, naključne (odklon) in sistematske napake. *Glej* odklon, področje obravnave, napaka izvornih podatkov, napaka izvedenih podatkov.	*GG* 1986
napaka izvedenih podatkov	processing error	Napaka operacije. Predvsem napaka kot posledica operacij pri prostorskih analizah. *Glej* napaka, napaka izvornih podatkov, področje obravnave.	
napaka izvornih podatkov	inherent error	Vgrajena, vrojena, inherentna, nedoločljiva napaka. Napaka, ki se pojavi kot razlika med področjem obravnave in zbirko podatkov, kamor spadajo napake v izvornih podatkih, meritvah, spremembah v naravi itd. *Glej* napaka, napaka izvedenih podatkov.	
natančnost	precision	Lastnost statističnega podatka, ki se nanaša na skladnost dobljenih podatkov pri ponovljenih opazovanjih in je glede na njegovo povprečno vrednost določena z ustreznimi merami (ne glede na dejansko vrednost podatka). *Glej* točnost, položajna natančnost, časovna natančnost, tematska natančnost.	*GG* 1986; *CEPP* 1997–2000; Košmelj et al. 1993; Kvamme et al. 1997; Robinson et al. 1995
nedoločljivost (zbirke podatkov)	(database) uncertainty	Nedoločenost. (1) Negotovost, kateri množici pripisati rezultat. (2) Nedoločljivost, ko ni na razpolago dovolj točnih podatkov za določitev področja obravnave.	Li 1998

Pojem	*Angleški izraz*	*Opis*	*Vir*
nepravilna trikotniška mreža (TIN)	triangular irregular network (TIN)	Nepravilna trikotniška (triangulacijska) mreža. Način topološke organizacije nepravilno razporejenih točk z znanim položajem in nadmorsko višino v mrežo različnih trikotnikov (v našem primeru gre za modeliranje zvezne ploskve reliefa), ki se s posebnim algoritmom tvori tako, da je vsak trikotnik čim bolj enakostraničen. *Glej* triangulacija, celična mreža, hibridna struktura, vektorska struktura.	Burrough in McDonnell 1998; *CEPP* 1997–2000
nominalne vrednosti	nominal values, unordered set	Imenskost, kategoričnost, pomenskost. Eden izmed tipov spremenljivk. *Glej* ordinalne vrednosti, zvezne vrednosti.	Chou 1997; Press et al. 1995
obalna črta	shoreline, coastline	Značilna črta površja Zemlje. Mejna črta med morjem, jezerom ali reko ter kopnim. *Glej* značilna črta.	
objekt	object	Entiteta, predmet. Pojav ali fizični objekt; kar koli obstoječega (fizično ali abstraktno), kar ima svojo lastno identiteto in značilnosti. *Glej* prostorski objekt, entiteta.	*CEN* 1994–1998
oblikovna črta	form line	Značilna črta površja, ki »mehko« lomi ploskev reliefa. Pri tem ploskev reliefa ostaja gladka. *Glej* značilna črta, lomna črta.	
oblikovnica	formline	Plastnica je oblikovnica v primeru premajhne točnosti in natančnosti, vendar geomorfološke korektnosti. *Glej* plastnica.	
območje, mnogokotnik	polygon, area	Areal, površina kot grafični objekt (geometrični, topološki). Dvorazsežni objekt z zaključenim enostavnim obodnim poligonom. *Glej* točka, črta.	Kvamme et al. 1997, 323
območje evklidske oddaljenosti, bafer	buffer zone	Enaka oddaljenost. Geometrična operacija (ki spada med analitične operacije) v GIS. Določanje območij najkrajših oddaljenosti okoli dane točke, črte ali območja. *Glej* ploskev evklidske oddaljenosti, ovojnica.	*GIS Glossary* 1997
odklon	deviation	Deviacija, odmik. Razlika med neko vrednostjo (npr. meritvijo) x_i in privzeto vrednostjo (npr. srednjo vrednostjo) M $d_i = x_i - M$ *Glej* standardni odklon.	Košmelj et al. 1993
odvodnica	drainage line	Značilna črta zemeljskega površja. Črta, po kateri teče oz. bi tekel potok ali reka. *Glej* značilna črta, dolinska črta, dolina, padnica, pobočje.	
operacije sosedstva	neighbourhood operation, context operations	Kontekstualne operacije. Del analitičnih operacij v prostorskih analizah v GIS. Izračun naklona in ekspozicij površja, razvodij, določitev vidnosti, osončenja itd.	

Pojem	*Angleški izraz*	*Opis*	*Vir*
ordinalne vrednosti	ordinal values, ordered set	Celoštevilčne vrednosti, ki omogočajo ureditev po vrsti. Eden izmed tipov spremenljivk. *Glej* nominalne vrednosti, zvezne vrednosti.	Chou 1997; Press et al. 1995; Košmelj et al. 1993
ortofoto (digitalni)	orthophoto (digital)	Fotografija oz. podoba zemeljskega površja. Geometrično je popravljena z uporabo kontrolnih točk in DMR. Ortofoto je podobno kot karta uporaben za neposredno merjenje.	*GIS Glossary* 1997
ovojnica	envelope line	Mejna črta območja evklidske oddaljenosti. *Glej* območje evklidske oddaljenosti, ploskev evklidske oddaljenosti.	
padnica	slope line, gradient line, flow line (uphill, downhill)	Značilna črta zemeljskega površja. Ima smer od višjega k nižjemu potencialu (v smeri največje spremembe potenciala) na potencialni ploskvi, kot je zemeljsko površje. Pravokotno seka plastnice. *Glej* značilna črta, odvodnica, pobočje.	*SSKJ* 1970–1991
parameter	parameter	(1) Poenostavljeno: posamezen podatkovni sloj, v statistiki tudi prostorska stopnja. (2) Konstanta ali spremenljivka, ki ima v določeni funkcijski povezavi viden ali izjemen pomen. *Glej* spremenljivka.	*SSKJ* 1970–1991
piksel, slikovni element	pixel, picture element	(iz angl. PIcture ELement). Najmanjši element digitalne podobe oz. rastra, navadno kvadratne oblike, ki podaja eno samo tonsko vrednost ali barvo (valovna dolžina). Njegova velikost je odvisna od ločljivosti snemalne naprave. *Glej* podoba, raster.	*CEPP* 1997–2000; Rihtaršič in Fras 1991
planota	plateau	Značilno območje zemeljskega površja. Višji, precej raven vendar lahko lokalno rahlo razgiban svet v hribovju, gorovju. *Glej* značilno območje.	*SSKJ* 1970–1991
plastnica, slojnica	contour line, elevation contour	Nivojnica, oblikovnica. Krivulja, ki povezuje točke površja z isto vrednostjo višine. Navpični interval med plastnicami imenujemo ekvidistanca. (1) Izohipsa, slojnica (kopno). (2) Izobata (dno vodnega površja) ipd. *Glej* ekvidistanca, oblikovnica.	*SPRING* 1996; Robinson et al. 1995, 538
ploskev evklidske oddaljenosti	distance surface	Rezultat geometrične operacije (ki spada med analitične operacije) v GIS. Rezultat določitve zveznih vrednosti najkrajših oddaljenosti od dane točke, črte ali območja. *Glej* območje evklidske oddaljenosti, ovojnica, stroškovna ploskev.	

Pojem	*Angleški izraz*	*Opis*	*Vir*
pobočje, brežina	slope, gradient, mountainside	Značilno območje zemeljskega površja. (1) Nagnjen svet med vznožjem in vrhom gore, hriba, griča. (2) Nagnjeno površje z določeno stopnjo. *Glej* značilno območje, odvodnica, padnica.	*SSKJ* 1970–1991; USIGS Glossary 1998
podatek	data	(1) Predstavitev dejstev, zamisli in navodil na način, ki je primeren za sporazumevanje, interpretacijo ali obdelavo. (2) Znaki ali simboli, shranjeni v računalniškem pomnilniku, ki predstavljajo »surovino« za ustvarjanje informacij. *Glej* prostorski podatek, informacija.	Chou 1997, 393; *CEPP* 1997–2000
podatkovni sloj	coverage, layer	Krajše: sloj. Sloj v GIS, ki združuje objekte iste vrste ali tematike. Navadno en parameter pri prostorskih analizah.	*CEPP* 1997–2000
podoba	image	V splošnem vsaka slika v računalniški obliki. Pri daljinskem zaznavanju predstavljajo podobe posnetke odbojnosti površja, pri radarskih posnetkih pa jakost odboja mikrovalov na zemeljskem površju. Podoba je sestavljena iz pikslov. Razlika med podobo in rastrom je predvsem v tem, da gre pri podobah predvsem za posnetke daljinskega zaznavanja, pri rastru pa za še bolj splošne podatke v GIS. *Glej* piksel, raster.	Oštir 2000
področje obravnave	universe of discourse (nominal ground, abstract view of the universe)	Nominalna osnova. Teoretični oz. hipotetični pogled na stvarnost je definiran z opisom (geografske) zbirke podatkov (to, kar nas zanima). Tvori podlago za opredelitev idealne zbirke (geografskih) podatkov, s katero se primerja dejanska zbirka podatkov za oceno njene kakovosti. Za področje obravnave pojmujemo, da predstavlja pravo vrednost zbirke geografskih podatkov. *Glej* stvarnost, kakovost.	*CEN* 1994–1998; *ISO/DIS 19113* 2001; Šumrada 1997
pojav	phenomena	Obstajanje nečesa, kar se kaže in je čutno zaznavno.	*SSKJ* 1970–1991
položajna točnost/natančnost	positional accuracy/ precision	Element kakovosti. Lahko je horizontalna ali vertikalna. Podaja pravilnost (bližino) geografskega položaja zbirke (geografskih) podatkov glede na področje obravnave (privzeta referenčna vrednost). *Glej* natančnost.	*CEN* 1994–1998; *ISO/DIS 19113* 2001
popolnost	completeness	Element kakovosti. Mera različnosti med zbirko (geografskih) podatkov in področjem obravnave glede na prisotnost objektov. Pojavnost/odsotnost prostorskih objektov, atributov in relacij. *Glej* kakovost.	*CEN* 1994–1998; *ISO/DIS 19113* 2001

Pojem	*Angleški izraz*	*Opis*	*Vir*
poreklo	lineage, source	Pregledni element kakovosti. Izvor podatkov; opisuje zgodovino podatkov, skupaj z opisom izvornega gradiva, opravljenimi transformacijami in navedbo posameznikov ali odgovornih ustanov. *Glej* kakovost, uporaba, namen.	*CEN* 1994–1998; *ISO/DIS 19113* 2001
povezanost	connectivity	Operacije povezanosti, ki se nanašajo na mrežne analize. *Glej* mrežne analize, topologija.	
povodje, porečje	watershed, drainage basin, catchment	Značilno območje zemeljskega površja. Porečje je ozemlje rečne mreže, ki vanj oddaja vodo, omejuje pa ga razvodnica. Povodje je ozemlje, ki oddaja vode v morje in ga omejuje morska razvodnica. Na povodjih/porečjih izvajamo hidrološke analize. *Glej* značilno območje, rečna mreža, stoječe vode, razvodnica.	Radinja 1991
površje	surface	Ploskev, relief. V disertaciji gre predvsem za zemeljsko površje (dejansko površje) in za ploskev površja (model, torej največkrat za matematično opisano ploskev). *Glej* relief.	
pravilno/nepravilno, regularno/ neregularno	regular/ irregular	Porazdelitev točk: pravilna (enakomerna) je npr. pravilna celična mreža, nepravilna (neenakomerna ali morda naključna) pa TIN (nepravilna trikotniška mreža).	Martinoni in Bernhard 1998
preklasifikacija	reclassification	Spreminjanje meja razredov. Analitična operacija združevanja (praviloma) večjega v manjše število razredov. *Glej* klasifikacija.	
prekrivanje	overlay	Del analitičnih operacij v prostorskih analizah: logično in aritmetično prekrivanje. *Glej* analitične operacije.	
prevzorčenje	resampling	Interpolacijske metode, ki se uporabljajo za preračun iz ene ločljivosti, izhodišča in orientacije celične mreže v drugo (t. i. geometrična transformacija). Največ se uporabljajo: metoda najbližjega soseda, bilinearna interpolacija in kubična konvolucija. Boljše metode prevzorčenja DMR upoštevajo tudi skelet reliefa. *Glej* interpolacija.	*ERDAS* 1997; Longley et al. 2001, 152
prostorski objekt	feature	Entiteta (točka, črta, območje, ploskev), pogojno: prostorski element. prostorska oblika. *Glej* objekt, entiteta.	Kvamme et al. 1997

Pojem	*Angleški izraz*	*Opis*	*Vir*
prostorski podatek	spatial data	Podatek, ki opisuje pojave v prostoru. Vsebuje prostorsko referenco, ki locira pojav v prostoru. Sestavljen je iz vsaj dveh elementov: prostorska sestavina, ki pove kje je objekt in opisna sestavina, ki pove kaj in kakšen je objekt. Prostorska sestavina je lahko neposredna (npr. koordinata *x*, *y*, *z*) ali posredna (npr. hišna ali parcelna številka). Tipičen prostorski podatek imamo denimo v Zemljiškem katastru, DMR, satelitskih in ortofoto posnetkih, skeniranih in vektoriziranih topografskih načrtih, RPE ipd. *Glej* podatek.	*CEPP* 1997–2000
radar	radar	(iz angl. RAdio Detection And Ranging). Elektromagnetni senzor, namenjen radijskemu zaznavanju in določanju razdalj. Prvi uporabljeni radarski sistem so zgradili leta 1938 v Angliji. Osnovni sestavni deli radarja so: oddajnik, antena, sprejemnik in sistem za obdelavo podatkov.	Oštir 2000
raster	raster	Množica točk, ki glede na razporeditev teselirajo površino pravilno ali približno s pripadajočimi piksli. Največkrat lahko take podatke zapišemo v matriko (matrični zapis). (1) Razlika med podobo in rastrom je predvsem v tem, da gre pri podobah predvsem za posnetke daljinskega zaznavanja, pri rastru pa za še bolj splošne podatke v obliki kvadrataste mreže. (2) Razlika med rastrom in celično mrežo je, da je celična mreža primerna za obdelavo (analize) v GIS, medtem ko za raster to (večinoma) ne velja. *Glej* celična mreža, mreža točk, mrežna celica, piksel, podoba, rastriranje.	*Arc/Info* 1998
rastriranje	rasterisation	Pretvorba vsebine zbirke podatkov iz vektorske v rastrsko obliko, tj. iz točk, črt in območij v celično mrežo. *Glej* digitalizacija, raster, skeniranje, vektorizacija.	*CEPP* 1997–2000
ravnina, ravan	flat surface, lowland, plain	Značilno območje zemeljskega površja. Večji, raven svet, najpogosteje nižinski. Ravan je geomorfološko nekoliko bolj razgibana od ravnine. Območje, ki ga navadno opredelimo z nakloni reliefa, manjšimi od 5 %. *Glej* značilno območje.	Perko 1998; *SSKJ* 1970–1991
razgibanost površja	terrain roughness, shape of the ground	Neravnost, hrapavost zemeljskega površja. Obstaja več pristopov določitve spremenljivke razgibanosti v GIS.	
razsežnost	dimension	Dimenzija (1-, 2-, 2,5-, 3- in večrazsežno). Razsežnost prostora, matrike, tabele, parametra.	
razvodnica	watershed divide, drainage divide	Značilna črta zemeljskega površja. Mejna črta med dvema povodjema ali porečjema. Na krasu definiramo tudi t. i. kraške razvodnice med podzemnimi vodami. *Glej* značilna črta, povodje.	Radinja 1991

Pojem	*Angleški izraz*	*Opis*	*Vir*
rečna mreža	drainage network	Rečno omrežje. Vodni tokovi določenega ozemlja, ne glede na njihovo usmerjenost. Vodno omrežje vsebuje poleg vodnih tokov tudi druge površinske vode, npr. jezera. Rečna mreža je del povodja/porečja (brez ozemlja), ki ima velik vpliv na geomorfološko pravilnost DMR. *Glej* povodje, stoječe vode.	Radinja 1991
referenčni elipsoid	reference ellipsoid	Telo (največkrat rotacijski elipsoid), ki se optimalno prilega obliki zemeljskega površja (vsota kvadratov odstopanj geoida od referenčnega elipsoida je minimalna). *Glej* geoid, geodetski datum.	*GETS* 1998
regionalizacija	regionalisation	Postopek delitve zemeljskega površja na pokrajine (značilna območja) ter njihovo hierarhično razvrščanje, deljenje in združevanje v zaključene skupine ali območja – geografske enote. V grobem ločimo družbenogeografske (upoštevajo npr. prebivalstvo, naselja, gospodarstvo) in naravnogeografske regionalizacije (upoštevajo npr. površje, podnebje, rastje). V primeru upoštevanja ene spremenljivke, npr. naklonov površja, lahko govorimo o klasifikacijah (členitvah, delitvah) zemeljskega površja. *Glej* klasifikacija.	Perko 1998; Hrvatin in Perko 2000b
relief	terrain	Oblikovanost zemeljskega površja, ki je nastala zaradi vpliva notranjih (endogenih) in zunanjih (eksogenih) sil. Je eden najpomembnejših geografskih elementov, ki daje temeljne značilnosti Zemlje in je osnova topografije. *Glej* površje, topografija.	*SSKJ* 1970–1991; *USIGS Glossary* 1998
reper, višinsko znamenje	bench mark	Geodetska točka z znano nadmorsko višino (nad ali pod izhodiščno višino). *Glej* nadmorska višina, geodetski datum, referenčni elipsoid.	*USIGS Glossary* 1998
SCOP	SCOP	(iz angl. Stuttgart COntouring Program). Program za izdelavo in analize DMR. Razvijajo ga na tehniških univerzah v Stuttgartu in na Dunaju.	
sedelna točka	saddle point	Točka presečišča najnižjega dela grebenske rezi in najvišjega dela dolinske črte. *Glej* značilna točka zemeljskega površja, sedlo.	
sedlo, prelaz	saddle, pass	Značilno območje zemeljskega površja. Prelaz je sedlo, skupaj s potjo. (1) Prevoj, območje presečišča najnižjega dela grebenske rezi in najvišjega dela dolinske črte. (2) Širši, zložnejši prehod čez sleme iz ene doline v drugo. *Glej* sedelna točka, greben.	*SSKJ* 1970–1991; Furlan et al. 2001

Pojem	*Angleški izraz*	*Opis*	*Vir*
selektivno vzorčenje	selective sampling	Fotogrametrična ročna metoda razpoznavanja in zajemanja točk, ki ležijo na značilnih oblikah (zemeljskega površja). Uporabna je za izdelavo DMR v obliki nepravilne mreže prostorskih trikotnikov (TIN). *Glej* značilna točka, značilna črta, stopnjujoče vzorčenje, kombinirano vzorčenje, TIN.	Rihtaršič in Fras 1991
semantika	semantics	Pomenoslovje, pomenskost. Nauk o pomenu besed (v ožjem pomenu).	*SSKJ* 1970–1991
senčenje površja	hill shading (relief shading, plastic shading, shaded relief)	Plastična metoda prikaza površja s sivimi toni, ki ponazarjajo osvetlitev površja glede na njegovo ekspozicijo. Eden najbolj realističnih prikazov oblikovanosti zemeljskega površja.	Robinson et al. 1995, 543
sistem globalnega določanja položaja (GPS)	global positioning system	Sistem (Navstar) je sistem za določanje globalnega položaja na Zemlji, ki temelji na tehnologiji vesoljske radijske navigacije. Leta 1973 ga je začelo vzpostavljati ameriško obrambo ministrstvo. Trenutno ga sestavlja 27 satelitov.	*USIGS Glossary* 1998
skelet reliefa	terrain skeleton	Skelet zemeljskega površja. Vsebuje značilne črte in točke reliefa. *Glej* značilna črta, značilna točka.	Makarovič 1977
skeniranje	scanning	Samodejna ploskovna digitalizacija analognih grafičnih predlog ali površja Zemlje s skenerjem. Rezultat je 2-razsežna digitalna rastrska slika – skenogram. Poznamo tudi lasersko 3-razsežno skeniranje zemeljskega površja. *Glej* digitalizacija, vektorizacija, rastriranje.	*CEPP* 1997–2000; Rihtaršič in Fras 1991
specifikacija vsebine	content specifications	Podroben opis vsebine.	
spremenljivka	variable	Parameter in spremenljivka imata v matematičnem smislu približno enak pomen. V računalništvu je parameter večinoma konstanta, ki se spreminja le na vhodne vrednosti podatka. V GIS je to podatkovni sloj. *Glej* parameter.	
srednji kvadratni odklon	root-mean-square deviation (RMSD), starejše: RMS error	Mera za točnost. Daljši izraz: srednji kvadratni odklon (napaka) od prave vrednosti, nem. die mittlere quadratische Abweichung, v geodeziji tudi srednji kvadratni pogrešek $m = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}$ To je mera, ki predstavlja odklon naključne spremenljivke od neke standardno privzete vrednosti – v splošnem ni enak standardnemu odklonu.	*CEN* 1994–1998; *GG* 1986; *LEO* 1995–2000; Košmelj et al. 1993

Pojem	*Angleški izraz*	*Opis*	*Vir*
srednji nivo morja	mean sea level	Povprečni položaj namišljene srednje ploskve med morjem in atmosfero, merjene v daljšem časovnem obdobju. *Glej* nadmorska višina.	*GG* 1986
standardna elipsa zaupanja	standard deviation ellipse, confidence ellipse	Standardni odklon v dveh razsežnostih. *Glej* standardni odklon.	
standardni odklon	standard deviation, middle error (v geodeziji)	Mera za natančnost, mera variabilnosti: tudi standardna deviacija, nem. die Standardabweichung, v geodeziji tudi srednji pogrešek (nem. mittelerer Fehler) $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})^2}$ To je standardiziran odklon (raztros rezultatov) od srednje vrednosti (aritmetična sredina) in je izračunan kot povprečje kvadratov odklonov določenih vrednosti od aritmetične sredine. Mero je uvedel K. Pearson leta 1893. *Glej* odklon.	*CEN* 1994–1998; *LEO* 1995–2000; Košmelj et al. 1993; USM 1999
statistika	statistics	Veda, ki se ukvarja z obdelavo numeričnih podatkov za jasnejši prikaz in opis. Obstaja več kot 100 definicij statistike.	Petz 1985, 9
stohastika	stochastic	Stohastičnost, slučajnost; spremenljivka, ki zavzame vrednost kjer koli v znanem intervalu. *Glej* metode Monte Carlo.	Bailey 1994, 27; Košmelj et al. 1993
stoječe vode	standing (stagnant) water	Pomemben geomorfološki element DMR, npr. jezera, zajezitve, ribniki, bajerji, morje ipd.	
stopnjujoče vzorčenje	progressive sampling	Polsamodejni fotogrametrični zajem podatkov v obliki zgoščujoče se celične mreže. Gostota mrežnih celic se povečuje z razgibanostjo površja do neke vnaprej določene maksimalne gostote. *Glej* selektivno vzorčenje, kombinirano vzorčenje.	Makarovič 1977; Rihtaršič in Fras 1991
stroškovna ploskev	cost surface	Ploskev porabe energije. Rezultat geometrične operacije v GIS (ki spada med analitične operacije). Določanje zveznih vrednosti oddaljenosti od dane točke, črte ali območja glede na strošek. Definiramo lahko tudi 'stroškovna območja'. *Glej* ploskev evklidske oddaljenosti.	
stvarnost	real world, universe	Resnični svet, dejanski svet, univerzum. Vsebuje potencialno neskončno objektov za modeliranje. Z abstrakcijo stvarnosti dobimo t. i. področje obravnave. *Glej* področje obravnave, kakovost.	*CEN* 1994–1998; *ISO/DIS 19113* 2001
téma	theme, attribute	Lastnost, atribut, znak. Tematski podatki. To so izbrane lastnosti ali značilnosti opazovanih objektov – entitet.	*CEN* 1994–1998

Pojem	*Angleški izraz*	*Opis*	*Vir*
tematska natančnost	thematic accuracy	Element kakovosti. Tudi atributna ali lastnostna natančnost (točnost). Podaja natančnost (opisnih) atributov zbirke (geografskih) podatkov. *Glej* natančnost.	*CEN* 1994–1998; *ISO/DIS 19113* 2001
teselacija, mozaičenje, (tlakovanje)	tessellation	Oblikovanje ali razporeditev majhnih likov v mozaičen vzorec. Ločimo pravilno in nepravilno teselacijo.	*Math Forum* 2000
TIN	TIN	*Glej* nepravilna trikotniška mreža, triangulacija.	
točka	point	Grafični objekt (geometrični, topološki). Je ničrazsežen objekt, ki podaja lego z dvema ali tremi koordinatami. *Glej* črta, območje, značilna točka.	Kvamme et al. 1997, 322
točnost	accuracy	(1) Bližina opazovanj vrednosti glede na prave vrednosti oz. glede na vrednosti, ki jih prevzamemo kot resnične. (2) Lastnost podatka, ki je določena glede na njegovo dejansko vrednost. *Glej* natančnost.	*CEN* 1994–1998; *GG* 1986; *CEPP* 1997–2000; Košmelj et al. 1993; Robinson et al. 1995
topografija	topography	Opis ali prikaz oblikovanosti površja Zemlje. Vsebuje naravne in antropogene elemente kot so relief, hidrološke elemente, ceste, mesta itd. *Glej* relief.	*NASA* 1995; *USIGS Glossary* 1998; *SSKJ* 1970–1991
topologija	topology	Sosedska razmerja. Veja matematike, ki se ukvarja s prostorskimi odnosi med geometričnimi liki, ki ostanejo med zveznimi transformacijami nespremenjeni (invariantni). V topologiji niso pomembne razdalje, koti in oblike likov. V GIS so to predvsem sosedskost, povezanost in relativni položaj vozlišč, njihovih linijskih povezav in poligonov (območij). *Glej* logična usklajenost, povezanost.	Burrough in McDonnell 1998; *CEPP* 1997–2000; Diantith in Nelson 1989
triangulacija	triangulation	Metoda povezovanja množice točk z znanim položajem v mrežo trikotnikov. Spada v kombinatorno vejo topologije. Znane so razdalje stranic trikotnikov in vmesni koti. Ena izmed najbolj znanih metod triangulacije je Delaunayjeva. *Glej* nepravilna trikotniška mreža.	Diantith in Nelson 1989; *GG* 1986
uporaba	usage	Pregledni element kakovosti. Uporaba podatkov. Opisuje aplikacije, za katere je bila zbirka (geografskih) podatkov že uporabljena. *Glej* kakovost, poreklo, namen.	*CEN* 1994–1998; *ISO/DIS 19113* 2001

Pojem	*Angleški izraz*	*Opis*	*Vir*
utežna sredina, tehtana sredina (utežna aritmetična sredina)	weighted average (weighted arithmetic mean)	Splošna aritmetična sredina. Pogojno se uporablja tudi 'utežena sredina'. Utežna sredina množice opazovanj, kjer je za vsako opazovanje x_i podana utež u_i, in jo zapišemo kot $\bar{x}_u = \frac{\sum u_i x_i}{\sum u_i}$ *Glej* algebra karte, metoda utežnega seštevanja.	Diantith in Nelson 1989
UTM	UTM map projection	Kartografska projekcija, podobna Gauss--Krügerjevi, le da je meridianska cona širine 6 stopinj in modul merila 0,9996. Razlika je tudi v tem, da je vezana na globalni elipsoid WGS84. *Glej* Gauss-Krügerjeva projekcija.	
vektorizacija	vectorisation	Pretvorba vsebine digitalne slike (podobe), skenograma iz rastrske v vektorsko obliko, in sicer samodejno, polsamodejno (uporaba »črva«) ali ročno (zaslonska vektorizacija). *Glej* skeniranje, digitalizacija, rastriranje.	*CEPP* 1997–2000
vektorska struktura	vector structure	Vektorska oblika. Način topološke organizacije. Zapis podatkov v obliki točk, črt ali območij. *Glej* celična mreža, nepravilna trikotniška mreža, hibridna struktura.	
verjetnostni pristop	probabilistic approach	Verjetnostni pristop reševanja problemov metod Monte Carlo. Omogoča neposredno simulacijo fizikalnega naključnega procesa za originalni problem.	Hammersley in Handscomb 1965
vrh	peak, summit	Značilna točka zemeljskega površja. Pozitivni ekstrem oz. najvišja točka. *Glej* značilna točka, kóta.	Furlan et al. 2001
vrtača, uvala, dno	dolina, bottom	Značilno območje zemeljskega površja. Vrtača je okroglasto udrto površje na krasu. Uvala je podolgovato udrto površje na krasu. Navajamo še globel, kot manjšo globljo vdolbino. *Glej* značilno območje, dno vrtače.	Furlan et al. 2001
vzorčenje	sampling	Približek analognega zapisa (posnetek) s poljubnim rastrom.	Rihtaršič in Fras 1991
vzorec	sample	Ena izmed statistik podatkovnih slojev. Vzorčenje porazdelitve.	
WGS84	WGS84	Globalni (svetovni) geodetski sistem, določen leta 1984. Najbolj razširjen geocentrični datum, ki ga uporablja tudi tehnologija GPS. *Glej* datum.	
zanesljivost	reliability	Opisuje verjetnost, da je uporabljeni vzorec zbirke (geografskih) podatkov reprezentativen za celoto.	*CEN* 1994–1998

Pojem	*Angleški izraz*	*Opis*	*Vir*
zbirka podatkov	database, dataset	Zaključena, organizirana zbirka oz. množica digitalnih grafičnih in tematskih (atributnih) (geografskih) podatkov ne glede na topološko in podatkovno strukturo.	Burrough in McDonnell 1998; *CEPP* 1997–2000
zlepek	spline	Gladka, navadno parametrično definirana matematična krivulja (polinom) za interpolacijo okolice danih točk, katere položaj, naklon in ukrivljenost se lokalno (odsekoma) prilagaja. Navadno gre za t. i. bikubične zlepke. *Glej* interpolacija.	*CEPP* 1997–2000; Diantith in Nelson 1989
zmožnost abstrakcije	ability for abstraction	Mera, kako dobro je bila neka značilnost definirana glede na abstraktnost področja obravnave. *Glej* področje obravnave, kakovost.	*CEN* 1994–1998
značilna črta/ skeletnica	structural/ characteristical line	Skeletna, strukturna, lomna črta. (1) Ločimo dva tipa črt, in sicer take, ki »mehko« lomijo ploskev površja – oblikovna črta, in take, ki jih »ostro« lomijo – prelomnica (lomna črta). (2) Razdvajajo porečja (razvodnice), ki so v dolinah (odvodnice, dolinske črte) ter predstavljajo tudi grebenske rezi, obalno črto itd. Črte, ki le pogojno spadajo med značilne so padnice in plastnice. *Glej* značilna točka, značilno območje, oblikovna črta, lomna črta, dolinska črta, grebenska rez, obalna črta, odvodnica, padnica, razvodnica, plastnica, skelet reliefa.	Clarke et al. 1995
značilna točka	structural/ characteristical point	Točke kot jih določijo geodeti ter geomorfološke točke kot so: vrhovi, sredine vrtač in uval, sedelne točke ipd. *Glej* značilna črta, značilno območje, kóta, sedelna točka, sredina vrtače, vrh, skelet reliefa.	
značilno območje	characteristical surface	Ne gre za regijo, temveč za geomorfološki opis manjšega dela površja (geografske enote) s podobnimi geomorfološkimi lastnostmi. Gre za območja povodij (porečij), dolin, (sotesk, vintgarjev, korit, globeli, grap), kotlin (kotanj), planot (ravni), pobočij (brežin), ravnin (nižin), vrtač (uval, dna), grebenov (slemen), sedel (prelazov), gričevij, hribovij, gorovij, krasa ipd. *Glej* značilna točka, značilna črta, geografska enota, dolina, greben, kotlina, planota, pobočje, povodje, sedlo, vrtača, ravnina, gričevje, hribovje, gorovje, kras.	
zvezne vrednosti	continuous values	Zvezni sloji. Ene izmed tipov spremenljivk. Teoretično jih aproksimirajo zvezne funkcije. V GIS jih pojmujemo tudi kot ploskve. *Glej* nominalne vrednosti, ordinalne vrednosti, digitalni model višin.	Chou 1997; Press et al. 1995

E.2 SPISEK OZNAK

a, b	velika in mala polos referenčnega elipsoida
α	naklonski kot površja, ukrivljenost površja
α, β, γ	rotacijski parametri podobnostne transformacije
d	delež na (intervalu [0, 1])
dm	parameter merila podobnostne transformacije
e	prva ekscentričnost meridianske elipse
f	frekvenca, pogostost pojava
φ, λ	geografske (prostorske polarne ali zemljepisne ali geodetske ali elipsoidne) koordinate za rotacijski elipsoid (geografska širina in dolžina)
H	ortometrična (nadmorska) višina
h	elipsoidna višina
i	ordinatni zamik, modifikacija s pomikom proti severu (angl. false northing)
I	Moranov avtokorelacijski koeficient
k	abscisni zamik, modifikacija s pomikom proti vzhodu (angl. false easting); faktor pragu za izločanje grobih napak
L_0^{φ}	dolžina loka meridiana od ekvatorja do dane geodetske širine
m	srednji kvadratni odklon (RMSD)
m_0	faktor merila na srednjem meridianu
M	srednji odklon
N	radij ukrivljenosti elipsoida po I. vertikalu (pri krogli bi bil to njen radij)
N_g	geoidna višina (undulacija)
R	ortogonalna rotacijska matrika
σ	standardni odklon (STD)
u	sloj uteži
x, y	ravninske pravokotne (kartezične) koordinate
X, Y, Z	prostorske pravokotne (kartezične) koordinate za rotacijski elipsoid, translacijski parametri podobnostne transformacije

G, H, I, K, L, N, O, P, R, S, T, U, V ... spremenljivke regionalizacij

RA, RB, RD, RG, RH, RI, RL, RN, RO, RP, RR, RS, RU, RV, RZ ... sloji regionalizacij

E.3 SPISEK KRATIC

Slovenska kr.	*Angleška kr.*	*Pomen*
	AML	– / arc macro language
	ANUDEM	– / Australian national university digital elevation modeling
AOP		avtomatska (samodejna) obdelava podatkov / automatic data processing

Slovenska kr.	*Angleška kr.*	*Pomen*
	BEV	– / (nem.) Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen
	CAD	računalniško podprto načrtovanje / computer aided design
CAS		ciklično aerosnemanje / cyclic aerial survey
CBPS		Centralna baza podatkov o stavbah / Central database of buildings
	CEN	– / (fr.) Comité Européen de Normalisation
CEPP		Centralna evidenca prostorskih podatkov / –
D48		datum slovenskega koordinatnega sistema iz leta 1948 / datum of Slovene coordinate system from 1948
DARS		– / Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji, d. d.
DBMS		database management system / sistem za uporabljanje z zbirkami podatkov
DKS		(slovenski) državni koordinatni sistem / Slovene coordinate system
DMR	DTM	digitalni model reliefa / digital terrain model
DMV	DEM	digitalni model višin / digital elevation model
DOF	DOP	digitalni ortofoto / digital ortophoto
DTK		Državna topografska karta / National topographic map
	ERS	Evropski satelit za daljinsko zaznavanje / European remote sensing satellite
	ESA	Evropska vesoljska agencija / European space agency
	ESRI	– / Environmental systems research institute
	ETOPO5	– / Earth topography – 5 minute
	ETRS	Evropski terestrični referenčni sistem / European terrestrial reference system
	EVRS	Evropski vertikalni referenčni sistem / European vertical reference system
	FGDC	– / Federal geographic data committee
FGG		Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo / Faculty of civil engineering and geodesy
GIS	GIS	geografski informacijski sistem / geographic(al) information system
GKB		Generalizirana kartografska baza / Generalised cartographic database
	GLOBE	– / Global land one-kilometer base elevation
GPS	GPS	globalni položajni sistem / global positioning system
	GRASS	– / Geographic resources analysis support system
	GRS80	Geodetski referenčni sistem iz leta 1980 / Geodetic reference system 1980
	GTOPO30	– / Global 30 arc second elevation data
GU		Geodetska uprava Republike Slovenije / Surveying and mapping authority of the Republic of Slovenia
	IDW	utežna obratna razdalja (interpolacija) / inverse distance weighted (interpolation)

Slovenska kr.	*Angleška kr.*	*Pomen*
	IfAG	– / (nem.) Institut für Angewandte Geodäsie
IGF		Inštitut za geodezijo in fotogrametrijo (danes Geodetski inštitut Slovenije – GI) / Institute of geodesy and photogrammetry
	ILWIS	– / Integrated land and water information system
InSAR	InSAR	Interferometrični SAR / Interferometric SAR
	ISO	– / International standards organization
	ITRS	Mednarodni terestrični referenčni sistem / International terrestrial reference system
	LASER	– / light amplification by stimulated emission of radiation
	LIDIC	interpolacija plastnic z obratno linearno razdaljo / linear inverse distance interpolation from contours
	NAP	– / (niz.) Normaal Amsterdams Peil
	NASA	– / National aeronautics and space administration
PAS		posebno aerosnemanje / special aerial survey
PK		pregledna karta / general map
	RADARSAT	Kanadski satelit z radarjem pasu C / Canadian satellite with C-band radar
refDMV		referenčni DMV / reference DEM
REZI		Register zemljepisnih imen / Register of geographical names
m	RMSD	srednji kvadratni odklon / root mean square deviation
RPE		Register prostorskih enot / Register of spatial units
	SAR	umetno-odprtinski radar / synthetic aperture radar
	SCOP	program za izdelavo plastnic iz Stuttgarta / Stuttgart contouring program
	SDTS	– / Spatial data transfer standard
	SIFI	iterativna interpolacija s filtriranjem / simple iterative filtering interpolation
	SPOT	– / (fr.) Satellite Pour l'Observation de la Terre
	SRTM	– / Shuttle radar topography mission
TBVN		Topografska baza večje natančnosti / High accuracy topographic database
	TIN	nepravilna trikotniška mreža / triangular irregular network
TK		Topografska karta / Topographic map
TKN		Topografsko katastrski načrt / Topographic cadastral map
TTN		Temeljni topografski načrt / Basic topographic map
	USGS	– / United states geodetic survey
USM	SMIS	Urad za standardizacijo in meroslovje / Standards and metrology institute
	UTM	univerzalna prečna (kartografska projekcija) / universal transverse Mercator (map projection)
	VRML	– / virtual reality modeling language

Slovenska kr.	*Angleška kr.*	*Pomen*
	WGS84	globalni (svetovni) geodetski sistem 1984 / world geodetic system 1984
ZDPR		zbirka digitalnih podatkov reliefa / DTM database
ZK		Zemljiški kataster / Land cadastre
ZRC SAZU		Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti / Scientific research centre of the Slovenian academy of sciences and Arts

KAZALO SLIK

1 Najstarejši ohranjeni zemljevid, ki ga nekateri strokovnjaki štejejo za slikarijo. 26
2 Odlomek glinaste ploščice dimenzij 7,6 krat 6,8 cm, ki je dolgo časa veljal za najstarejši ohranjeni zemljevid (levo). Vrisan je del severne Mezopotamije, najden na arheološkem najdišču mesta Ga-Sur, približno 300 km od Babilona. Njeno rekonstrukcijo prikazuje desna slika. 26
3 Rimski zemljevid iz približno leta 100 pr. n. št. Hribovja so shematično prikazana v obliki verig s senčenjem. 27
4 Stara avstrijska vojaška karta iz let 1763 do 1787 v merilu 1 : 28.800. 28
5 Avstro-ogrska vojaška karta iz začetka 20. stol. v merilu 1 : 75.000. 29
6 Plastnice in kóte za prikaz površja na Državni topografski karti merila 1 : 25.000 (DTK 25). 30
7 Globalni DMV projekta GLOBE ločljivosti 30". Prikazano je območje Evrope. 33
8 Detajl zemljevida 'Relief Slovenije' v merilu 1 : 250.000 iz leta 1995, izdelanega iz DMR 100. 40
9 Radarski posnetek ERS-1, zajet 12. marca 1997, napet na InSAR DMV 25. 44
10 Pomorska karta Koprskega zaliva, napeta prek InSAR DMV 25. 46
11 Simulacija vidnosti (Monte Carlo) z oddajnika na Nanosu. 51
12 Shema definicije DMR. 65
13 Primerjava dveh interpretacij ploskve DMR, na levi kot mreža točk (žični model) in na desni kot celična mreža (dvorazsežni histogram ali DMV). 75
14 Triangulacija plastnic z določitvijo značilnih črt. 86
15 Samodejno ustvarjanje značilnih točk in črt glede na plastnice za manjše območje tipične kraške pokrajine. 87
16 Samodejno ustvarjene značilne točke in črte iz celične mreže na osnovi plastnic GKB-reliefa. 90
17 Samodejno ustvarjanje hidrološke mreže ter odgovarjajočih grebenov s popravki reliefa. 92
18 Prikaz območij vrtač glede na DMV, prikazan s tehniko bipolarnega diferenciranja za manjše kraško območje. 93
19 Funkcije za spajanje slojev. Hermitov poligon, normalizirana sinusoida in linearna funkcija. 97
20 Astrogeodetska mreža Slovenije. 102
21 Diagram pretvorbe iz DKS v ETRS89, ki velja v obeh smereh. 109
22 Geoid, elipsoid, zemeljsko površje ter parametri h, H in N_g. 111
23 Astrogeodetski geoid Slovenije iz leta 1999 glede na elipsoid WGS84. 111

24 Prostorske pravokotne in geografske koordinate. 112
25 Matematični model 7-parametrične podobnostne transformacije. 113
26 Poenostavljen model kakovosti pri izdelavi modela reliefa od stvarnosti prek področja obravnave do DMR. 116
27 Natančnost in točnost. 122
28 DMR 100 s prvotno ločljivostjo (levo) in po zgostitvi celične mreže na 20 m (z metodo zlepkov; desno). S krogom je označena groba napaka, ki se jo da opaziti šele na desni sliki. 129
29 Vizualna metoda kontrole kakovosti za odkrivanje grobih napak plastnic. Levo: primerjava originalnega poteka plastnic GKB-reliefa in izvedenih iz modela reliefa, izdelanega iz njih. Desno: kombinacija samodejnega senčenja DMR iz originalnih plastnic GKB-reliefa in prikaza omenjenih plastnic. 130
30 Napaka križanja plastnic, ki se kaže kot lažna kombinacija grebena in doline pri samodejnem ustvarjanju območij grebenov. 131
31 Blokovni diagram izdelave DMR. 144
32 Primera odkrivanja grobih napak plastnic GKB-reliefa s primerjavo pri prekrivanju posameznih slojev. 152
33 Na DMR 100 nepravilno lociran Blejski otok. S krogom je označena izboklina kot nepravilna lokacija, s črno barvo označen otok pa kot pravilna. 153
34 Primerjava videza DMR 100 (levo) in DMR 25 (desno) za testno območje Alp. 153
35 Primerjava videza DMR 100 (levo) in DMR 25 (desno) za testno območje Krasa. 154
36 Primerjava plastnic TTN 5 in GKB-reliefa z DMR 25, prikazanim s hipsometrično barvno lestvico v sivih tonih. 154
37 Primerjava plastnic TTN 5 in GKB-reliefa za testna območja Krškega, Alp in Krasa. 155
38 Primerjava plastnic TTN 5 in GKB-reliefa z DOF 5 za del testnega območja Krškega. 156
39 Primerjava plastnic TTN 5 in GKB-reliefa z DOF 5 za del testnega območja Krasa. 156
40 Primerjava plastnic TTN 5 in GKB-reliefa z DOF 5 za del testnega območja Alp. 157
41 Podrobna primerjava plastnic TTN 5 z DOF 5 za del testnega območja Alp. 157
42 Točkovni viri (točke temeljnih geodetskih mrež, CBPS ter ročno zajete kóte z DTK 25). 158
43 Referenčni DMV. 159
44 Zvezni sloj RU. 161
45 Izločitev geodetske točke po 'metodi varianc'. 162
46 Grafikon standardnega odklona in povprečne nadmorske višine posameznih skupin točk. 164
47 Grafikon primerjave srednjega kvadratnega odklona *m* in srednjega odklona *M* za posamezne vire. 168
48 Popravki sistematskih napak RS_i za DMR 25. 172
49 Vizualizacija senc DMR, izdelanega iz nepopravljenih plastnic GKB-reliefa ter presekov črt potokov in rek (linearna interpolacija višine *H*). 177
50 Prekrivanje plastnic GKB-reliefa in razvodnic ter iz GKB-reliefa samodejno ustvarjenih značilnih črt (modro) za detajla testnih območij Krškega (levo) in Alp (desno). 178
51 Napaka pri iskanju značilnih črt na območju struge reke Save (srednja in tri spodaj desno živozelene črte). 179
52 Primerjava interpolacij plastnic, levo s TIN in desno z LIDIC. 180
53 Napake, označene s samodejno ustvarjenimi plastnicami, ki jih najlažje izločimo z metodo grobe ocene. 183
54 DMR, izboljšan s hidrološkimi analizami. 184
55 Utežno seštevanje virov v utežen sloj DMR. 187
56 Geomorfološko popravljanje uteženega sloja DMR. 187

57 Prevladujoči viri RA: GKB-relief (rdeče), DMR 25 (zeleno), TTN 5 (modro), DMR 100 (rumeno). ... 190
58 Perspektivni prikaz DMR 100 s toponimi (zgoraj) in DMV 20 (spodaj). ... 193
59 DMV 20, prikazan s tehniko bipolarnega diferenciranja, kombiniran s senčenjem. ... 194
60 Vizualizacija razlik višin med DMV 20 in refDMV, kjer je drugi odštet od prvega. Razlike so prikazane z diskromatsko barvno lestvico. ... 194
61 Primerjava ekspozicij površja za refDMV (levo) in DMV 20 (desno) na izrazito ravnem Ljubljanskem barju. ... 195
62 Samodejno ustvarjene plastnice kartografske kakovosti in rečna mreža iz DMV 20. ... 195
63 Histogrami za DMR 100 (levo zgoraj), InSAR DMV 25 (desno zgoraj), refDMV (levo spodaj) in izdelek DMV 20 (desno spodaj). ... 196
64 Relativni histogrami za DMR 100, InSAR DMV 25, refDMV in izdelek DMV 20 (od leve proti desni). ... 196
65 Profili reliefa (približno 5000 m dolžine) za DMR 100 (levo zgoraj), InSAR DMV 25 (desno zgoraj), refDMV (levo spodaj) in za izdelek DMV 20 (desno spodaj). ... 197
66 Monte Carlo simulacije vidnosti z oddajnika na Krimu za DMR 100, InSAR DMV 25 in izdelek DMV 20 (od leve proti desni). ... 198
67 Primerjava slojev GKB-reliefa in TTN 5. ... 200
68 Primerjava samodejno izdelanih plastnic (izdelka DMR) ter plastnic GKB-reliefa. ... 202
69 Testna območja za izdelavo DMR Slovenije. ... 227
70 Spremenljivka poseljenosti *P* za območje Ljubljane. ... 233
71 Delna spremenljivka gostote plastnic GKB-reliefa – L_i za območje Ljubljane. ... 234
72 Regionalizacija Slovenije na kompleksne geografske enote ravnin, gričevij, hribovij in gorovij. ... 237
73 Primerjava območij nezadostne kakovosti RP_1 s plastnicami GKB-reliefa in plastnicami TTN 5. ... 239
74 Primer napake na DTK 25, odkrite z vizualnimi kontrolami videza, kjer višina kóte ni skladna s plastnicami. ... 257
75 Predvojna TK 25 (levo) in novejša DTK 25 (desno) za manjše območje Polhograjskega hribovja. ... 258
76 TK 25 (levo) in novejša DTK 25 (desno) za manjše območje Savinjskih Alp. ... 258
77 DMV z ločljivostjo 10 m, interpoliran iz plastnic s kart TTN za testno območje Triglava. ... 262
78 DMV ločljivosti 5 m, izdelan iz podatkov DARS, d. d., uporaben kot referenčni za kontrolo kakovosti podatkov v okolici gradnje avtocest. ... 264
79 Okolje programa SCOP++. ... 277
80 Zapis podatkov, kodiranih kot značilne črte v formatu WINPUT programa SCOP. ... 279

KAZALO PREGLEDENIC

1 Pregled tehnik zajema podatkov. ... 70
2 Primerjava lastnosti celične mreže, TIN in hibridne strukture. ... 78
3 Kodiranje podatkov, pripravljenih za modeliranje. ... 150
4 Število točk pred in po izločanju grobih napak z deleži izločenih točk za celotno Slovenijo. ... 163
5 Osnovni opisni statistični podatki točk za območje Slovenije glede na dejanski relief (približek je refDMV). ... 164
6 Porazdelitev (frekvenca) točk brez grobih napak glede na standardna območja za kontrolo kakovosti na območju Slovenije. ... 165
7 Frekvenca (delež) referenčnih točk *f*, srednji kvadratni odklon *m* in srednji odklon *M* kot sistematska napaka posameznega vira (vrstice). ... 167
8 Parametri kakovosti posameznih virov za vso Slovenijo glede na srednji kvadratni odklon *m* in srednji odklon *M*. ... 168
9 Frekvenca (delež) referenčnih točk *f*, srednji kvadratni odklon *m*, srednji odklon *M* kot sistematska napaka posameznega popravljenega vira (vrstice) ter popravek sistematske napake M_0. ... 172
10 Primerjava potencialnih virov z oceno pomembnosti uporabe za izdelavo DMR. ... 175
11 Parametri uteži (filtrov) za posamezne skupine kodiranih podatkov. ... 185
12 Primerjava statističnih parametrov kakovosti pri izboljševanju DMR s sekundarnimi sloji na 10 testnih območjih Slovenije. ... 189
13 Delež posameznih virov, izračunanih glede na površino 10 testnih območij. ... 190
14 Priporočljiva ekvidistanca plastnic glede na posamezna kartografska merila. ... 201
15 Testna območja za izdelavo DMR Slovenije. ... 226
16 Viri za pripravo spremenljivk regionalizacij Slovenije. ... 230
17 Vrednosti parametrov minimalnega standardnega odklona in maksimalnega glede na posamezne spremenljivke za testiranje z refDMV pri izračunu regionalizacije RU. ... 241
18 Opis kakovosti DMR 100 s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR. ... 244
19 Opis kakovosti DMR 500 s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR. ... 244
20 Opis kakovosti DMR 25 s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR. ... 245
21 Opis kakovosti 'SPOT DMV 20' s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR. ... 247
22 Opis kakovosti InSAR DMR 25 s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR. ... 248
23 Opis kakovosti InSAR DMR 100 s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR. ... 248
24 Opis kakovosti DMR 10 in 20 s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR. ... 249
25 Opis kakovosti DMR 10 mesta Ljubljane s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR. ... 250

26 Opis kakovosti DMR 10 Ljubljanskega gradu s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR. 251
27 Opis kakovosti GTOPO30 s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR. 252
28 Opis kakovosti GKB s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR. 255
29 Opis kakovosti razvodnic (DTK 25) s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR. 260
30 Opis kakovosti plastnic (TTN5 in 10) s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR. 261
31 Opis kakovosti TBVN s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR. 263
32 Opis kakovosti podatkov za izdelavo avtocest ter primernosti za izdelavo DMR. 264
33 Opis kakovosti točk temeljnih geodetskih mrež s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR. 267
34 Opis kakovosti točk izmeritvenih mrež s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR. 268
35 Opis kakovosti ZK-točk s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR. 268
36 Opis kakovosti CBPS s poudarkom na primernosti za izdelavo DMR. 270
37 Opis kakovosti referenčnega DMV (refDMV). 271
38 Opis kakovosti novega DMR Slovenije. 272

LITERATURA

AALDERS, H. J. G. L., 1996: *Quality metrics for GIS.* Kraak, M. J., Molenaar, M. (ur.): Advances in GIS Research II : 7th International Symposium on Spatial Data Handling. (Delft, Nizozemska), str. 5B.1–5B.10.

ABDELGUERFI, M., WYNNE, C., COOPER, E., ROY, L., 1998: *Representation of 3-D elevation in terrain databases using hierarchical triangulated irregular networks: a comparative analysis.* International Journal of Geographical Information Science, letnik 12, št. 8, str. 853–873.

ABDUL-RAHMAN, A., 1994: *Design and evaluation of TIN interpolation algorithms.* EGIS/MARI '94, (Amsterdam, Nizozemska), št. 1, str. 328–343. http://www.odyssey.maine.edu/gisweb/spatdb/egis/eg94038.html (zadnji obisk 9. 1. 2001).

ABDUL-RAHMAN, A., 1995: *Digital Terrain Modelling Using Contours and GPS Data.* Joint European Conference and Exhibition on Geographical Information, Netherlands Congress Centre, (Haag, Nizozemska), št. 1, str. 216–218.

ACKERMANN, F., 1978: *Experimental Investigation into the Accuracy of Contouring from DTM.* Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, letnik 44, št. 12, str. 1537–1548.

ANNONI, A., 2001a: *European Projections Interoperability*. 4th AGILE Conference on Geographic Information Science, 19.–21. april 2001, (Brno, Češka), str. 590–598.

ANNONI, A., 2001b: *Main Problems in Building European Environmental Data*. Belward, A., Binaghi, E., Brivio, P. E., Lanzarone, G. A., Tosi, G. (ur.): International Workshop on Geo-Spatial Knowledge Processing for Natural Resource Management, 28.–29, University of Insubria. junij 2001, (Varese, Italija), str. 177–183.

ARC/INFO, 1998: *ArcDoc.* Environmental Systems Research Institute, (Redlands, ZDA).

BAILEY, T. C., 1994: *A review of spatial statistical analysis in GIS.* Fotheringham, A. S., Rogerson, P. A. (ur.): Spatial Analysis and GIS. Taylor & Francis, (London, Velika Britanija).

BAILLARD, C., DISSARD, O., 2000: *A Stereo Matching Algorithm for Urban Digital Elevation Models.* Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, letnik 66, št. 9, str. 1119–1128.

BAMLER, R., 1999: *The SRTM Mission: A World-Wide 30 m Resolution DEM from SAR Interferometry in 11 Days*. Fritsch/Spiller (ur.): 47 Photogrammetric Week 1999, (Stuttgart, Nemčija), str. 145–154.

BANOVEC, T., LESAR, A. ET AL., 1975: *Prostorskoinformacijski sistem SR Slovenije /PIS SRS/ – II. faza, elaborat št. 2, Digitalni model reliefa.* (Sodelavci: Bergant, B., Ćulav, L., Ferjan, M., Podobnikar, M., Slatnar, A., Stare, N., Šivic, P.) Geodetski zavod SRS, (Ljubljana), 118 str.

BAUDEMONT, F., PARROT, J.-F., 2000: *Structural Analysis of DEM's by Intersection of Surface Normals in a Three-Dimensional Accumulator Space.* IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, letnik 38, št. 3, str. 1191–1198.

BERK, S., 1996: *Izravnava in statistična analiza temeljnih horizontalnih geodetskih mrež*. Diplomska naloga, FGG, Oddelek za geodezijo, Univerza v Ljubljani, (Ljubljana), 140 str.

BERK, S., 1997: *Zgostitev DMR-100 zaradi izdelave senc za topografske karte.* (neobjavljeno).

BERNHARDSEN, T., 1992: *Geographic information Systems.* Viak IT, Norwegian Mapping Authority, druga izdaja, (Arendal, Norveška), 318 str.

BILC, A., BRVAR, A., TANKO, D., 1981: *Računalniško senčenje reliefa Slovenije.* Geodetski vestnik, (Ljubljana), letnik 25, št. 3, str. 144–149.

BORČIĆ, B., 1976: *Gauss-Krügerova projekcija meridijanskih zona.* Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, (Zagreb).

BRONŠTEJN, J. N., SEMENDJAJEV, K. A., 1963: *Matematični priročnik za inženirje in slušatelje tehniških visokih šol*. Založba Življenje in tehnika, prvi slovenski prevod, (Ljubljana), 699 str.

BURROUGH, P. A., 1986: *Principles of Geographical Systems Information Systems for Land Resources Assessment.* Clarendon Press, (Oxford, Velika Britanija), 193 str.

BURROUGH, P. A., MCDONNELL, R. A., 1998: *Principles of Geographical Systems Information Systems. Spatial Information Systems and Geostatistics.* Oxford University Press, (Oxford, Velika Britanija), 333 str.

CANTERS, F., 1994: *Simulating error in triangulated irregular network models.* EGIS/MARI '94, (Amsterdam, Nizozemska), str. 169–178. http://www.odyssey.ursus.maine.edu/gisweb/spatdb/egis/eg94019.html (zadnji obisk 28. 12. 2000).

CARRARA, A., BITELLI, G., CARLA', R., 1997: *Comparison of techniques for generating digital terrain models from contour lines.* International Journal Geographical Information Science, letnik 11, št. 5, str. 451–473.

CEN, 1994–1998: *European Committee for Standardization (Comité Européen de Normalisation)/Technical Committee – Geographic information (CEN/TC 287).* Razni dokumenti o evropskih predstandardih – ENV. http://forum.afnor.fr/afnor/WORK/AFNOR/GPN2/Z13C/PUBLIC/WEB/ENGLISH/pren.htm (zadnji obisk 12. 5. 2001).

CEPP, 1997–2000: *Centralna evidenca prostorskih podatkov (CEPP), GIS katalog (CD ROM) : Specifikacija metapodatkovnega standarda – program MPedit (po standardih iz CEN/TC 287).* GIS borza, Geoinformacijski center, Ministrstvo za okolje in prostor RS, (Ljubljana). http://www.sigov.si:81/index-1.html (zadnji obisk 5. 11. 2000).

CHENEZ, C., KERMARREC, G., 2000: *On-going Metadata Initiatives in Europe.* 5th EC--GIS Workshop. European Commission, Joint Research Centre, Proceedings, 28.–30. junij 1999, (Stresa, Italija), str. 35–49.

CHENG, Y. C., LEE, P. J., LEE, T. Y., 1999: *Self-similarity dimensions of the Taiwan Island landscape.* Computers and Geosciences, Geological Survey of Canada, Elsevier Science, letnik 25, št. 9, str. 1043–1050. http://www.elsevier.nl/gejng/10/13/38/show/index.htt (zadnji obisk 16. 1. 2001).

CHOU, Y.-H., 1997: *Exploring Spatial Analysis in Geographic Information Systems.* OnWord Press, (Santa Fe, ZDA), 478 str.

CLARKE, K. C. ET AL., 1995: *Digital Terrain Analysis.* Hunter College Department of Geography, City University of New York, (ZDA). http://everest.hunter.cuny.edu/terrain/ (zadnji obisk 2. 1. 2001).

CONRAD, O., 1998: *What is a Digital Terrain Model – DiGeM – A Program for Digital Terrain Modeling.* http://members.aol.com/oconrad/dgm/dgm_main.htm (zadnji obisk 6. 8. 2000).

CRESSIE, N. A. C., 1993: *Statistics for Spatial Data.* John Wiley & Sons, Inc, New York, (ZDA), 907 str.

CRONIN, T., 2000: Classifying Hills and Valleys in Digitized Terrain. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, letnik 66, št. 9, str. 1129–1137.

CUPT, 2000: (Centre for Ultra Precision Technologies), University of Huddersfield, (Queensgate, Velika Britanija). http://www.hud.ac.uk/schools/engineering/research/ultrap/surface/parameters.htm (zadnji obisk 20. 1. 2001).

DE FLORIANI, L., PUPPO, E., 1992: *A hierarchical triangle-based model for terrain description.* Frank, A. U., Campari, I., Formentini, U. (ur.): Theories and Methods of Spatio-Temporal Reasoning in Geographic Space. Springer-Verlag, (Berlin, Nemčija), št. 639, str. 236–251.

DE FLORIANI, L., MAGILLO, P., PUPPO, E., BERLOTTO, M., 1996: *Variable Resolution Operators on a Multiresolution Terrain Model.* Proceedings 4th ACM Workshop on Advances in Geographic Information Systems (ACM-GIS '96), (RockVille, Maryland, ZDA), november 1996, str.121–128. http://www.disi.unige.it/person/DeflorianiL/publications.html (zadnji obisk 9. 1. 2001).

DE MASSON D'AUTUME, G., 1976: *Interpolation by flexible rod (spline): Applications to digital photogrammetry.* Prevod iz Francoščine, XIII International Photogrammetry Congress, (Helsinki, Finska).

DEBELAK, M., 1993: *Obdelava digitalnih slik v računalniško podprtem senčenju/Digital image processing in computer-supported hill shading.* Geodetski vestnik, (Ljubljana), letnik 37, št. 3, str. 173–184.

DI LUZIO, M., SRINIVASAN, R., 1999: Filling the Gaps Between USGS DEMs and the USEPA Reach Files. 9th ESRI International User Conference, Environmental Systems Research Institute, (San Diego, Kalifornia, ZDA), 26.–30. julij. http://www.esri.com/library/userconf/archive.html (zadnji obisk 14. 1. 2001).

DIANTITH, J., NELSON, R. D. (ur.), 1989: *The Penguin Dictionary of Mathematics*. Penguin books.

DOBRAVEC, J., 2000: *Postopek izdelave digitalnega modela reliefa Triglavskega narodnega parka.* Geodetski vestnik, (Ljubljana), letnik 44, št. 4, str. 384–389.

DORFFNER, L., MANDELBURGER, G., MOLNAR, L., WINTNER, J., WÖHRER, B., 1999: *Geländemodelltechnologien – Forschung und Weiterentwicklung am IPF.* 10. International geodätische Woche Obergurgl, (Avstrija), 12.–27. februar. http://geodaesie.uibk.ac.at/obg99/wintner.html (zadnji obisk 4. 1. 2001).

DOYLE, F. J., 1978: *Digital Terrain Models: An Overview.* Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, letnik 44, št. 12, str. 1481–1487.

DOYTSHER, Y., HALL, J. K., 1997: *Interpolation of DTM using bi-directional third-degree parabolic equations, with FORTRAN subroutines.* Computers and Geosciences, Geological Survey of Canada, Elsevier Science, letnik 23, št. 9, str. 1013–1020. http://www.elsevier.nl/gej-ng/10/13/38/show/index.htt (zadnji obisk 16. 1. 2001).

DROBNE, S., PODOBNIKAR, T., 1999: *Osnovni pojmi v geografskih informacijskih sistemih*. Univerza v Ljubljani, FGG – Oddelek za geodezijo, (Ljubljana), 65 str. http://gragent.fgg.uni-lj.si/~/sdrobne/Pouk/GIS_Pojm/Index.htm (zadnji obisk 1. 2. 2001).

DRUMMOND J., 1995: *Positional accuracy.* Guptill, S. C., Morrison, J. L. (ur.): Elements of spatial data quality. Elsevier, str. 31–58.

DULAR, J., SLAPŠAK, B., STANČIČ, Z., TECCO-HVALA, S., 1992: *Arheologija in GIS.* Pak, M. (ur.): Geografski informacijski sistemi v Sloveniji. Oddelek za geografijo Filozofske fakultete, Dela 9, (Ljubljana), str. 213–222.

DUPÉRET, A., 1999: *DTM edition in IGN France An operational process to generate contour lines.* Fritsch/Spiller (ur.): 47 Photogrammetric Week 1999. (Stuttgart, Nemčija), str. 211–219.

DUPÉRET, A., 2000: *Semi-automatic Contour Line Generation: Advanced Manual Editing Tools Crucial for Proper Results.* GIM international, (Lemmer, Nizozemska), letnik 14, št. 3, str. 45–49.

DUTCH, S., 2000: *The Universal Transverse Mercator System.* University of Winsconsin – Green Bay, (ZDA). http://www.uwgb.edu/dutchs/FieldMethods/UTMSystem.htm (zadnji obisk 7. 10. 2000).

EASTMAN, J. R., 1997: *IDRISI for Windows (software documentation, version 2.0).* Clark University. Graduate School of Geography, (Worcester, ZDA).

ECKER, R., 1999: *Homogenisierung digitaler Geländmodelle unterschiedlicher Genauigkeit mittels linearer Prädiktion und robuster Schätzung.* /delovna verzija/, (Dunaj, Avstrija), 8 str.

EHLSCHLAEGER, C. R., SHORTRIDGE, A., 1996: *Modelling elevation uncertainty in geographical analyses.* Kraak, M. J., Molenaar, M. (ur.), Advances in GIS Research II : Proceedings 7th. International Symposium on Spatial Data Handling, (Delft, Nizozemska), str. 9B.15–9B.25.

ERDAS, 1997: *ERDAS Field Guide.* fourth edition, ERDAS, Inc., (Atlanta, Georgia, ZDA).

ETOPO5, 2001: *ETOPO5 5-minute gridded elevation data*. NGDC (ZDA). http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/etopo5.HTML (zadnji obisk 25. 8. 2001).

EVRS, 2000: European Vertical Reference System, (Leipzig, Nemčija). http://evrs.leipzig.ifag.de/ (zadnji obisk 8. 7. 2001).

FELICÍSIMO, A. M., 1994: *Parametric statistical method for error detection in digital elevation models.* ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, letnik 49, št. 4, str. 29–33. http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/SIG/ICA95.html (zadnji obisk 28. 12. 2000).

FELUS, Y. A., CSATHO, B., 2000: *Multi-source DEM evaluation and integration at the Antarctica transantarctic mountains project.* International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, (Amsterdam, Nizozemska), št. XXXIII, del B1, str. 117–123.

FGDC, 1998: (Federal Geographic Data Committee) *Content Standard for Digital Geospatial Metadata (FGDC-STD-001-1998)*. (ZDA). http://www.fgdc.gov/metadata/csdgm/ (zadnji obisk 5. 10. 2000).

FISHER, P. F., 1996: *Animation of Reliability in Computer-generated Dot Maps and Elevation Models.* Cartography and Geographic Information Systems, letnik 23, št. 4, Journal of American Congress on Surveying and Mapping, (ZDA).

FOGEL, D. N., 1996: *Third international Conference/Workshop on integrating GIS and Environmental Modeling.* (Santa Fe, New Mexico, ZDA), 21.–25. januar. http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA_FE_CD-ROM/sf_papers/fogel_david/santafe.html (zadnji obisk 13. 12. 2000).

FRAS, Z., 1994: *Možnosti izdelave digitalnega modela reliefa R Slovenije.* Ekspertiza. Igea, d. o. o., (Ljubljana), december 1994, 30 str.

FREDERIKSEN, P., JACOBI, O., 1980: *Terrain Spectra.* Technical University Denmark, (Danska).

FRIDL, J., PERKO, D., 1996: *Digitalni model reliefa Slovenije z okolico.* Geografski obzornik, (Ljubljana), letnik 43, št. 3, str. 16–19.

FURLAN, M., GLOŽANČEV, A., ŠIVIC-DULAR, A., 2001: *Pravopisno ustrezen zapis zemljepisnih in stvarnih lastnih imen v registru zemljepisnih imen in registru prostorskih enot*. Geodetska uprava Republike Slovenije, (Ljubljana), 58 str.

GABROVEC, M., 1991: *Povezovanje DMR-ja in EHIŠ-a pri proučevanju prebivalstva*. Geodetski vestnik, (Ljubljana), letnik 35, št. 4, str. 266–268.

GABROVEC, M., 1993: *GIS for environment.* Conference on geographical information systems in environmental studies, Jagiellonian University, Institute of geography, (Kraków, Poljska), str. 91–97.

GABROVEC, M., 1996: *Solar Radiation and the Diverse Relief in Slovenia.* Geografski zbornik, Acta geographica, (Ljubljana), št. XXXVI, str. 48–68.

GABROVEC, M., HRVATIN, M., 1998: *Reliefne enote in oblike.* Pogačnik, A. (ur.): Geografski atlas Slovenije : Država v prostoru in času. DZS, (Ljubljana), str. 83.

GAJSKI, D., 2000: *Geomorphologic improvement of DTM-s especially as derived from laser scanner data.* Kosmatin Fras, M., Mussio, L., Crosilla, F. (ur.): ISPRS, Proceeedings of the Workshop : International cooperation and technology transfer. Ljubljana, 2.–5. februar 2000, IGF, (Ljubljana), št. XXXII, del 6W8/1, str. 70–75.

GAO, J., 1997: *Resolution accuracy of terrain representation by grid DEMs at a microscale.* International Journal of Geographical Information Science, letnik 11, št. 2, str. 199–212.

GAO, J., 1998: *Impact of sampling intervals on the reliability of topographic variables mapped from grid DEMs at micro scale.* International Journal of Geographical Information Science, št. 12–8, str. 875–890.

GARBRECHT, J., MARTZ, L. W., 1999: *Digital Elevation Model Issues in Water Resources Modeling.* 9th ESRI International User Conference, Environmental Systems Research Institute, (San Diego, Kalifornia, ZDA), 26.–30. julij. http://grl.ars.usda.gov/topaz/esri/paperH.htm, http://www.esri.com/library/userconf/archive.html (zadnji obisk 4. 1. 2001)

GENS, R., 1998: *Quality assessment of SAR interferometric data.* International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), Publication No. 61, (Enschede, Nizozemska), 141 str.

GESCH, D. B., LARSON, K. S., 1996: *Techniques for development of global 1-kilometer digital elevation models.* Pecora Thirteen, Human Interactions with the Environment – Perspectives from Space, (Sioux Falls, South Dakota, ZDA), 20.–22. avgust 1996. http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/papers/geschd3.html (zadnji obisk 6. 8. 2000).

GETS, 1998: (Geodetski tezaver in slovar) GU in FGG, (Ljubljana). http://www.sigov.si:90/rgu/gu.html, http://itc.fgg.uni-lj.si/gets/ (zadnji obisk 10. 8. 2000).

GG, 1986: (Geodetic Glossary) National Geodetic Survey, (Rockville, MD, ZDA).

GILMAN, C. R., 1981: *The Manual/Photomechanical and Other Methods for Relief Shading.* The American Cartographer, (ZDA), letnik 8, št., 1, str. 41–53.

GIORDANO, H., VEREGIN, H., 1994: *Il controllo di qualita nei sistemi informativi teritoriali.* Il Cardo, (Benetke, Italija), 139 str.

GIS Glossary, 1997: New York State Education Department, (ZDA). http://www.archives.nysed.gov/pubs/gis/glossary.htm (zadnji obisk 27. 8. 2000).

GONG, J., LI., Z., ZHU, Q., SUI, H., ZHOU, Y., 2000: *Effects of Various Factors on the Accuracy of DEMs: An Intensive Experiment Investigation.* Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, letnik 66, št. 9, str. 1113–1117.

GOODCHILD, M. F., KEMP K. K., 1990: *NCGIA Core Curriculum. Introduction to GIS.* NCGIA, University of California, (Santa Barbara, ZDA). http://www.geog.ubc.ca/courses/klink/gis.notes/ncgia/toc.html (zadnji obisk 13. 12. 2000).

GOODCHILD, M. F., 1995: *Attribute accuracy.* Guptill, S. C., Morrison, J. L. (ur.): Elements of spatial data quality. Elsevier, str. 59–80.

GOUVEIA, C., HENRIQUES, P., NICOLAU, R., ROCHA, J., SANTOS, M., 2001: *Moving from CEN TC 287 to ISO/TC 211 – The approach of the Portuguese National Geographic information Infrastructure*. 4th AGILE Conference on Geographic Information Science, 19.–21. april 2001, (Brno, Češka), str. 260–269.

GOULD, M., HERRING, J. R., 2001: *Redefining GIS*. 4th AGILE Conference on Geographic Information Science, 19.–21. april 2001, (Brno, Češka), str. 615–620.

GRASS, 2001: (Geographic Resources Analysis Support System), *GRASS GIS*. http://www.baylor.edu/~grass/, http://www.geog.uni-hannover.de/grass/ (zadnji obisk 1. 2. 2001).

GRAŠIČ, M., 1974: *Stanje i program daljih gravimetrijskih radova.* Vojnogeografski institut, Beograd, str. 123–130.

GTOPO30, 2000: *GTOPO30 Documentation.* (ZDA). http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/README.html (zadnji obisk 5. 12. 2000).

GU, 1998: (Geodetska uprava Republike Slovenije) *Državna topografska karta 1 : 25.000. Topografski ključ s pojasnili za uporabo.* (Ljubljana).

GU, 2000: (Geodetska uprava Republike Slovenije). (Ljubljana). http://www.sigov.si/rgu/gu.html (zadnji obisk 2. 12. 2000).

HAMMERSLEY, J. M., HANDSCOMB, D. C., 1965: *Monte Carlo methods.* Mathuen, London, John Wiley & Sons, (New York, ZDA).

HARLEY, J. B., WOODWARD, D. (ur.), 1987: *The history of cartography. Vol. 1., Cartography in prehistoric, ancient, and medieval Europe and Mediterranean.* University of Chicago Press, (Chicago, ZDA).

HASTINGS, D. A., DUNBAR, P. K., 1998: *Development & Assessment of the Global Land One-km Base Elevation Digital Elevation Model (GLOBE).* ISPRS Archives, letnik 32, št. 4, str. 218–221, september 1998, (ZDA). http://www.ngdc.noaa.gov/seg/topo/isprsdem.shtml (zadnji obisk 2. 9. 2000).

HASTINGS, D. A., DUNBAR, P. K., 1999: *Global Land One-kilometer Base Elevation (GLOBE) Digital Elevation Model.* Dokumentacija. Št. 1.0. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Geophysical Data Center, (ZDA). http://www.ngdc.noaa.gov/seg/topo/globe.shtml (zadnji obisk 2. 9. 2000).

HECHT, L., 2000: Open GIS : *Standards Drive the Spatial Web Worldwide*. GEOWorld, September 2000. http://www.geoplace.com/gw/2000/0009/0900og.asp (zadnji obisk 17. 5. 2001).

HEITZINGER, D., 1998: *SCOP.TRI, User Manual.* IPF, TU Vienna, (Avstrija).

HEITZINGER, D., KAGER, H., 1998: *High quality DTMs from contourlines by knowledge--based classification of problem regions.* Proceedings of the International Symposium on "GIS – Between Visions and Applications", ISPRS Comm. 4, letnik 32, del 4, (Stuttgart, Nemčija), str. 230–237. http://www.ipf.tuwien.ac.at/veroeffentlichungen/dh_p_isprs98/dh_p_isprs98.html (zadnji obisk 6. 8. 2000).

HEUVELINK, G. B. M., 1998: *Error Propagation in Environmental Modelling with GIS.* Taylor & Frances, London, Bristol.

HOCHSTÖGER, F., 1996: *Software for Managing Country-Wide Digital Elevation Data.* International Archives for Photogrammetry and Remote Sensing, letnik XXXI, del B2, str. 160–163, (Dunaj, Avstrija). http://www.ipf.tuwien.ac.at/veroeffentlichungen/fh_p_isprs96.html (zadnji obisk 7. 12. 2000).

HOČEVAR, M., HLADNIK, D., KOVAČ, M., 1992: *Zasnova prostorskega informacijskega sistema (PIS/GIS) kot podlage za večnamensko gospodarjenje z gozdom in gozdnato krajino.* Pak, M. (ur.): Geografski informacijski sistemi v Sloveniji. Oddelek za geografijo Filozofske fakultete, Dela 9, (Ljubljana), str. 153–167.

HOFMANN-WELLENHOF, B., KIENAST, G., LICHTENEGGER, H., 1994: *GPS in der Praxis.* Springer-Verlag, Wien, New York.

HOWE, D., 1999: *Free On-Line Dictionary of Computing*. (Velika Britanija). http://foldoc.doc.ic.ac.uk/ (zadnji obisk 6. 8. 2000).

HRVATIN, M., PERKO, D., 2000a: *Naravne pokrajine v mestni občini Ljubljana*. Hladnik, D., Krevs, M., Perko, D., Podobnikar, T., Stančič, Z. (ur.): Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1999–2000. ZRC SAZU, (Ljubljana), str. 153–166.

HRVATIN, M., PERKO, D., 2000b: *Regionalizacija in tipizacija mestne občine Ljubljana*. Gabrovec, M., Orožen Adamič, M. (ur.): Ljubljana : Geografija mesta. Ljubljansko geografsko društvo, Založba ZRC, ZRC SAZU (Ljubljana), str. 101–116.

HSIA, J.-S., NEWTON, I., 1999: *A Method for the Automated Production of Digital Terrain Models Using a Combination of Feature Points, Grid Points, and Filling Back Points.* Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, letnik 65, št. 6, str. 713–719.

HUBER, M., 1995: *Contour-to-DEM: A New Algorithm for Contour Line Interpolation.* Joint European Conference and Exhibition on Geographical Information, Netherlands Congress Centre, (Haag, Nizozemska), št. 1, str. 221–222.

HUTCHINSON, M. F., 1988: *Calculation of hydrologically sound digital elevation models.* Third International Symposium on Spatial Data Handling, International Geographical Union, Columbus, (Sydney, Avstralija), str. 117–133.

HUTCHINSON, M. F., 1989: *A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits.* Journal of Hydrology, Elsvier Science Publishers B.V., Amsterdam, št. 106, str. 211–232.

HUTCHINSON, M. F., DOWLING, T. I., 1991: *A continental hydrological assessment of a new grid-based digital elevation model of Australia.* Hydrological Processes, John Wiley & Sons, št. 5, str. 45–58.

HUTCHINSON, M. F., 1996: *A locally adaptive approach to the interpolation of digital elevation models.* Third International Conference/Workshop on Integrating GIS, NCGIA, (Santa Barbara, ZDA). http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/papers/local.html (zadnji obisk 5. 12. 2000).

HUTCHINSON, M. F., GALLANT J. C., 1998: *Representation of terrain.* Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., Rhind, D. W. (ur.): Geographical information systems : Principles and Technical Issues. John Wiley & Sons, New York, str. 105–124.

HUTCHINSON, M. F., 2000: *ANUDEM.* Centre for Resource and Environmental Studies, The Australian National University, (Canberra, Avstralija). http://cres.anu.edu.au/outputs/anudem.html (zadnji obisk 20. 12. 2000).

ISO/DIS 19111, 2001: (Draft International Standard ISO/DIS 19111. ISO/TC 211, Geographic information – Spatial referencing by coordinates) International organization for standardization, 42 str.

ISO/DIS 19113, 2001: (Draft International Standard ISO/DIS 19113. ISO/TC 211, Geographic information – Quality principles) International organization for standardization, 32 str.

ISO/TC 211, 1997–2000: (International Standard Organization) Geographic information/Geomatic. (dokumenti v povezavi s kakovostjo).

IVAČIČ, M., 1996: *Izbrane metode ugotavljanja kakovosti prostorskih podatkov v geografskih informacijskih sistemih.* Magistrska naloga, FGG, Oddelek za geodezijo, Univerza v Ljubljani, (Ljubljana), 123 str.

IVAČIČ, M., 1998: *Kakovost digitalnega modela reliefa na primeru enostavne hidrološke analize.* Krevs, M., Perko, D., Podobnikar, T., Stančič, Z. (ur.): Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1997–1998. ZRC SAZU, (Ljubljana), str. 91–97.

JAAKKOLA, O., OKSANEN, J., 2000: *Creating DEMs from Contour Lines: interpolation techniques which save terrain morphology.* GIM international, (Lemmer, Nizozemska), letnik 14, št. 9, str. 46–49.

JENKO, M., 1996: *Razvoj triangulacije skozi stoletja – s posebnim poudarkom na Sloveniji.* Geodetski vestnik, (Ljubljana), letnik 40, št. 1, str. 43–46.

JOVANOVIĆ, V., 1983: *Matematička kartografija.* Vojnogeografski institut, (Beograd).

KALOS, M. H., WHITLOCK, P. A., 1986: *Monte Carlo methods*. Volume I: Basics. John Wiley & Sons, (New York).

KARNIČNIK, I., RADOVAN, D., PETROVIČ, D., 2000: *The first Slovenian nautical chart – digital on WGS 84.* Kosmatin Fras, M., Mussio, L., Crosilla, F. (ur.): ISPRS, Proceeedings of the Workshop : International cooperation and technology transfer. Ljubljana, 2.–5. februar 2000, IGF, (Ljubljana), št. XXXII, del 6W8/1, str. 82–88.

KNABENSCHUH, M., PETZOLD, B., 1999: *Data post-processing of Laser Scan Data for countrywide DTM production.* Fritsch, Spiller (ur.): Photogrammetric Week 1999. (Stuttgart, Nemčija).

KOLER, B., 1994: *Vertikalni datumi nivelmanskih mrež v Sloveniji*. Geodetski vestnik, (Ljubljana), letnik 38, št. 1, str. 7–16.

KOLER, B., 1998: *Višine točk v različnih koordinatnih sistemih.* Geodetski vestnik, (Ljubljana), letnik 42, št. 3, str. 277–285.

KOROŠEC, B., 1978: *Naš prostor v času in projekciji.* Geodetski zavod SRS, (Ljubljana).

KOSMATIN FRAS, M., 1988: *Teoretične osnove izdelave digitalnega ortofoto.* Geodetski vestnik, (Ljubljana), letnik 32, št. 1–2, str. 25–31.

KOSMATIN FRAS, M., 1989: *Off - line izdelava digitalnega ortofota v praksi.* Geodetski vestnik, (Ljubljana), letnik 33, št. 3, str. 133–142.

KOŠMELJ, B., ARH, F., DOBERŠEK-URBANC, A., FERLIGOJ, A., OMLADIČ, M., 1993: *Statistični terminološki slovar.* Statistično društvo Slovenije, Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije, 1. izdaja, (Ljubljana).

KRAUS, K., 1994: *Visualization of the Quality of Surfaces and Their Derivatives.* Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, letnik 60, št. 4, str. 457–462.

KRAUS, K., 1996: *Program system SCOP. Product information.* Institute of Photogrammetry ad Remote Sensing, Technical University Vienna, (Avstrija).

KRAUS, K., 1997: *Photogrammetry : Volume 2, Advanced Methods and Applications.* 4th ed., Dümmler, (Bonn, Nemčija).

KRAUS, K., 1998: *Interpolation nach kleinsten Quadraten versus Krige-Schätzer.* Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation Helt 1/98, str. 45–48.

KRAUS, K., PFEIFER, N., 1998: *Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data.* ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, letnik 53, št. 4, str. 193–203.

KRAUS, K., 1999: Osebni pogovori, (Dunaj, Avstrija) – maj-junij 1999.

KRAUS, K., RIEGER, W., 1999: *Processing of laser scanning data for wooded areas.* Fritsch/Spiller (ur.): 47 Photogrammetric Week 1999. (Stuttgart, Nemčija), str. 221–231.

KRAUS, K., 2000: *Photogrammetrie: Band 3, Topographische Informationssysteme.* Dümmler, (Köln, Nemčija).

KREVS, M., 1992: *Iskanje lokalnih reliefnih ekstremov na DMR.* Geografski vestnik, (Ljubljana), letnik 64, str. 205–218.

KUHAR, M., 1998: *GPS-višinomerstvo.* Geodetski vestnik, (Ljubljana), letnik 42, št. 3, str. 286–293.

KVAMME, K., OŠTIR-SEDEJ, K., STANČIČ, Z., ŠUMRADA, R., 1997: *Geografski Informacijski Sistemi.* ZRC SAZU, (Ljubljana).

Kvarkadabra, 2000: *Časopis za tolmačenje znanosti.* http://www.kvarkadabra.net/ (zadnji obisk 10. 8. 2000).

LANIUS, C., 1999: *Mathematics of Cartography*. Rice University, Department of Mathematics, (ZDA). http://math.rice.edu/~lanius/pres/map/ (zadnji obisk 6. 8. 2000).

LARSON, K. S., 1996: *Error Detection and Correction of Hypsography Layers.* Proceedings, Sixteenth Annual ESRI User Conference, 20.–24. maj, 1996. Environmental Systems Research Institute, Inc., (Redlands, Kalifornija, ZDA). http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/papers/P178.html (zadnji obisk 9. 1. 2001).

LEE, J., MARION, L. K., 1994: *Analysis of Spatial Autocorrelation of U.S.G.S. 1:250,000 Digital Elevation Models.* GIS/LIS, (ZDA, str. 504–513. http://wwwsgi.ursus.maine.edu/gisweb/spatdb/gis-lis/gi94064.html (zadnji obisk 5. 9. 2000).

LEE, J., 1996: *Digital Elevation models: Issues of Data Accuracy and Applications.* 1996 ESRI User Conference, (Palm Springs, Kalifornija, ZDA), 20.–24. maj. http://www.esri.com/library/userconf/proc96/TO150/PAP145/P145.HTM (zadnji obisk 9. 1. 2001).

LEMMENS, M. J. P. M., 1999a: *Blind Data.* GIM international, (Lemmer, Nizozemska), letnik 13, št. 10, str. 81.

LEMMENS, M. J. P. M., 1999b: *47 Photogrammetric Week.* GIM international, (Lemmer, Nizozemska), letnik 13, št. 11, str. 40.

LEO, 1995–2000: *English/German Dictionary.* http://dict.leo.org/ (zadnji obisk 5. 11. 2000).

LESAR, A., 1973: *Digitalni model reliefa z gridom 500. DMR 500. Predlog za organizacijo datoteke.* RI Geodetski zavod SRS, (Ljubljana), 13 str.

LESKOVAR, A., 1984: *Ručna izrada modela relijefa zemljišta od lakih materijala.* Zbornik radova. Vojnogeografski institut, (Beograd), str. 111–117.

LI, M., 1998: *Error and Uncertainty Management of Spatial Databases in GIS.* Seminar. Key Centre for Social Applications of GIS, School of Geoinformatics, Planning and Building, University of South Australia, (Avstralija). http://www.gisca.adelaide.edu.au/~mli/gpbsem/index.htm (zadnji obisk 8. 12. 2000).

LI, Z., SUI, H., 2000: *Automated Generalisation of Contour Maps: A System Based on a Natural Principle of Objective Generalisation.* GIM international, (Lemmer, Nizozemska), letnik 14, št. 7, str. 52–54.

LIPEJ, B., 1997: *Optimizacija prostorskega planiranja kot posledica GIS tehnologije in prostorskega managementa.* Doktorska disertacija, FGG, Oddelek za geodezijo, Univerza v Ljubljani, (Ljubljana).

LIPEJ, B., 1998: *Kakovost podatkov načrtov in kart v analogni obliki*. Geodetski vestnik, Ljubljana, letnik 42, št. 2, 178–184. http://www.sigov.si/cgi-bin/spl/zgs/gv98_2/kakovosti_drzavnih_nacrtov.html?language=csz (zadnji obisk 6. 8. 2000).

LONGLEY, P. A., GOODCHILD, M. F., MAGUIRE, D. J., RHIND, D. W., 2001*: Geographic Information Systems and Science*. John Willey & Sons, 454 str.

LÓPEZ, C., 1997: *Locating some types of random errors in Digital Terrain Models.* International Journal of Geographical Information Science, letnik 11, št. 7, str. 677–698.

LÓPEZ, C., 2000: *On the improving of elevation accuracy of Digital Elevation Models: a comparison of some error detection procedures.* Transactions on GIS, letnik 1, št. 1. http://www.clearinghouse.com.uy/~carlos/papers/tog2000/ (zadnji obisk 17. 12. 2000).

LORRIMAN, N., MCCARTHY, S., TAYLOR, B., 1991: All digital terrain modelling systems are not equal. LSS Homepage, University of Newcastle upon Tyne, (Velika Britanija). http://www.mccarthytaylor.demon.co.uk/ (zadnji obisk 8. 1. 2001).

LOVETT, A. A., 1995: *Spatial Analysis. The Economics of Geographic Information.* GIS – Material for a Post-Graduate Course, Št. 2: GIS Technology, Geoinfo, TU Vienna, (Dunaj, Avstrija), str. 453–483.

LUKAČIČ ET AL., 1982: *Razporeditev Blokov digitalnega modela reliefa.* Geodetski zavod SRS, Prostorsko informacijski center, (Ljubljana).

MAKAROVIČ, B., 1973: *Progressive Sampling for Digital Terrain Models.* ITC Journal, (Enschede, Nizozemska), št. 3, str. 397–416.

MAKAROVIČ, B., 1977: *Composite Sampling for Digital Terrain Models.* ITC Journal, (Enschede, Nizozemska), št. 3, str. 406–433.

MARK, D., 1999: *What is DEM?* http://www.census.gov/cgi-bin/geo/gisfaq?Q3.5 (zadnji obisk 6. 8. 2000).

MARSIK, Z., 1971: *Automatic Relief Shading.* Photogrammetria, št. 27, str. 57–70.

MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J. A., STUIVER, H. J., 1998: *Automated delineation of drainage networks and elementary catchments from digital elevation models.* ITC Journal, (Enschede, Nizozemska), št. 3/4, str. 198–208.

MARTINONI, D., BERNHARD, L., 1998: A *Conceptual Framework for Reliable Digital Terrain Modelling. Proceedings 8th Symposium on Spatial Data Handling,* (Vancouver, Kanada), str. 737–750. http://www.geo.unizh.ch/gis/research/dtm/papers/ (zadnji obisk 9. 1. 2001).

MARTZ, L. W., GARBRECHT, J., 1999: *An outlet breaching algorithm for the treatment of closed depressions in a raster DEM.* Computers and Geosciences, Geological Survey of Canada, Elsevier Science, letnik 25, št. 7, str. 835–844. http://www.elsevier.nl/gej-ng/10/13/38/show/index.htt (zadnji obisk 16. 1. 2001).

MATH FORUM, 2000: *What is Tessellation?* http://forum.swarthmore.edu/sum95/suzanne/whattess.html (zadnji obisk 1. 2. 2001).

MATLAB, 1997: *User's Guide Version 5*. The Mathworks Inc., (ZDA).

MCARTHUR, D. E., FUENTES, R. W., DEVARAJAN, V., 2000: *Generation of Hierarchical Mult resolution Terrain Databases Using Wavelet Filtering.* Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, letnik 66, št. 3, str. 287–295.

MIKHAIL, E. M., 1978: *Panel discussion: The Future of DTM.* Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, letnik 44, št. 12, str. 1487–1497.

MIŠKOVIĆ, D., 1995: *Poročilo o poteku priprav za izvedbo GPS kampanije Euref'95.* Geodetski vestnik, (Ljubljana), letnik 39, št. 2, str. 115–118.

MLINAR, J., 1999: *Projekti na področju digitalnega modela reliefa.* Načrt projekta. GU, (Ljubljana).

NACKAERTS, K., GOVERS, G., VAN ORSHOVEN, J., 1999: *Accuracy assessment of probabilistic visibilities.* International Journal of Geographical Information Science, letnik 13, št. 7, str. 709–721.

NAPRUDNIK, M., 1978: *DMR 100.* Dopis Geodetske uprave Zavodu SRS za družbeno planiranje, (Ljubljana), 9.3.1978.

NAPRUDNIK, M., 1984: *Obvezno navodilo o vodenju digitalnega modela reliefa Slovenije.* Republiška geodetska uprava, (Ljubljana).

NASA, 1995: (National Aeronautics & Space Administration) *Welcome to the Planets/Glossary.* California Institute of Technology, (ZDA). http://pds.jpl.nasa.gov/planets/welcome/glossary.htm (zadnji obisk 12. 8. 2000).

NCGIA, 2000: (National Center for Geographic Information and Analysis) *The NCGIA Core Curriculum in GIScience*. (Santa Barbara, ZDA). http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/cc_outline.html (zadnji obisk 1. 2. 2001).

OKSANEN, J., JAAKKOLA, O., 2000: *Interpolation and accuracy of contour-based raster DEMs.* Reports of the Finnish Geodetic Institute 2000:2, (Kirkkonummi, Finska), 32 str.

OLIVER, M. A., WEBSTER, R., 1990: *Kriging: a method of interpolation for geographical information systems.* International Journal Geographical Information Systems, letnik 4, št. 3, str. 313–332.

OLSEN, L. M., BLISS, N. B., 1996: *Development of a 30-arc-second digital elevation model of South America.* In: Pecora Thirteen, Human Interactions with the Environment – Perspectives from Space, (Sioux Falls, South Dakota, ZDA), 20.–22. avgust. http://www.esri.com/library/userconf/proc97/proc97/to400/pap382/p382.htm (zadnji obisk 6. 8. 2000).

OPENSHAW, S., 1992: *Learning to live with errors in spatial databases (Chapter 23).* Goodchild, M., Gopal, S. (ur.): Accuracy of spatial databases. Taylor & Frances, str. 263–276.

OPENSHAW, S., CHARLTON, M., CARVER, S., 1991: *Error propagation: a Monte Carlo simulation.* Masser, I., Blackmore, M. (ur.): Handling Geographical Information : Methodology and Potential Applications. Longman Group UK Ltd., England, (Velika Britanija), str. 79–101.

ÖSTMAN, A., 1987a: *Accuracy Estimation of Digital Elevation Data Banks.* Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, letnik 53, št. 4, str. 425–430.

ÖSTMAN, A., 1987b: *Quality control of photogrammetrically sampled digital elevation models.* Photogrammetric Record, št. 12 (69), april 1987, str. 333–341.

ÖSTMAN, A., 1993: *Quality Control and Specification of Digital Elevation Models.* Laatu Paikkatiedoissa, Painatuskeskus Oy, Maanmittaustieteiden Seuran julkaisu n:o 30, Helsinki University of Technology, (Helsinki, Finska), str. 48–55.

ÖSTMAN, A., 1996: *Quality systems for spatial data.* Joint European Conference and Exhibition on Geographical Information, (Barcelona, Španija), št. 1, str. 268–276.

OŠTIR, K., 1998: *Izdelava modela višin z radarsko interferometrijo.* Krevs, M., Perko, D., Podobnikar, T., Stančič, Z. (ur.): Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1997–1998. ZRC SAZU, (Ljubljana), str. 243–252.

OŠTIR, K., PODOBNIKAR, T., 1999: *Plazilec stiska najbolje.* Monitor, (Ljubljana), maj 1999, letnik 9, št. 5, str. 124–125.

OŠTIR, K., 2000: *Analiza vpliva združevanja radarskih interferogramov na natančnost modelov višin in premikov zemeljskega površja.* Doktorska disertacija, FGG, Oddelek za geodezijo, Univerza v Ljubljani, (Ljubljana), 175 str.

OŠTIR, K., PODOBNIKAR, T., STANČIČ, Z., MLINAR, J., 2000a: *Digitalni model višin InSAR DMV 25.* Geodetski vestnik, (Ljubljana), letnik 44, št. 4, str. 374–383.

OŠTIR, K., STANČIČ, Z., PODOBNIKAR, T., VEHOVAR, Z., 2000b: *Pridobivanje in uporaba prostorskih podatkov visoke ločljivosti pri načrtovanju omrežja mobilne telefonije.* Hladnik, D., Krevs, M., Perko, D., Podobnikar, T., Stančič, Z. (ur.): Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1999–2000. ZRC SAZU, (Ljubljana), str. 143–152.

OVEN, J., 1996: *Digitalni ortofoto v Sloveniji.* Černe, A., Hladnik, D., Hudnik, J., Krevs, M., Perko, D., Rener, R., Stančič, Z., Šumrada, Z. (ur.): Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1995–1996. (Ljubljana), str. 27–30.

PAVLIN, B., 1996: *Povezovanje teledetekcije in GIS-ov na primeru izdelave karte rabe tal v Spodnji Vipavski dolini.* Černe, A., Hladnik, D., Hudnik, J., Krevs, M., Perko, D., Rener, R., Stančič, Z., Šumrada, Z. (ur.): Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1995–1996. (Ljubljana), str. 146–151.

PERKO, D., 1991: *Digitalni model reliefa kot osnova za geografski informacijski sistem.* Geodetski vestnik, (Ljubljana), letnik 35, št. 4, str. 269–275.

PERKO, D., 1992a: *Geografski informacijski sistemi v regionalni geografiji in geoekologiji.* Pak, M. (ur.): Geografski informacijski sistemi v Sloveniji. Oddelek za geografijo Filozofske fakultete, Dela 9, (Ljubljana), str. 186–203.

PERKO, D., 1992b: *Nakloni v Sloveniji in digitalni model reliefa.* Geodetski vestnik, (Ljubljana), letnik 36, št. 2, str. 115–121.

PERKO, D., 1992c: *Naravne nesreče in digitalni model reliefa.* Ujma, (Ljubljana), št. 6, str. 174–179.

PERKO, D., 1993: *Ekspozicije v Sloveniji.* Geografski obzornik, (Ljubljana), letnik 40, št. 4, str. 22–25.

PERKO, D., 1994: *Relief aspects in Slovenia/Ekspozicije površja v Sloveniji.* Geografski zbornik, (Ljubljana), letnik 34, str. 119–147.

PERKO, D., 1998: *The regionalization of Slovenia/Regionalizacija Slovenije.* Geografski zbornik, (Ljubljana), letnik 38, str. 11–57.

PERKO, D., 2000: *Analiza površja Slovenije s stometrskim digitalnim modelom reliefa.* V zbirki: Geografija Slovenije 3. Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU, Založba ZRC, (Ljubljana), 160 str (v tisku).

PETERCA, M., RADOŠEVIĆ N., MILOSAVLJEVIĆ S., RACETIN F., 1974: *Kartografija.* Vojnogeografski institut, (Beograd).

PETERCA, M., 1982: *Uputstvo za izvođenje rdova na obnovi sadržaja drugog izdanja topografske karte razmera 1:25 000.* Savezni sekreterijat za narodnu odbranu, (Beograd), 43 str.

PETERCA, M., 1993: *Državni sistem ravninskih pravokotnih koordinat (Predlog zasnove za R Slovenijo).* Geodetski vestnik, (Ljubljana), letnik 37, št. 2, str. 89–94.

PETZ, B., 1985: *Osnovne statističke metode za nematematičare.* Sveučilišna naklada Liber, druga izdaja, (Zagreb).

PODOBNIKAR, M., 1973: *Digitalni model reliefa Slovenije.* Začasno poročilo. Inštitut Geodetskega zavoda SRS, (Ljubljana).

PODOBNIKAR, T., 1995a: *Katalog koordinat vogalov topografskih kart 1:25 000 TK 25.* Naročnik: GU, (Ljubljana), 13 + 1 str.

PODOBNIKAR, T., 1995b: *Modeliranje prostora z geografskim informacijskim sistemom.* Diplomska naloga, FGG, Oddelek za Geodezijo, Univerza v Ljubljani, (Ljubljana), 95 str.

PODOBNIKAR, T., 1998a: *Metode Monte Carlo simulacij v prostorskih analizah.* Magistrska naloga, FGG, Oddelek za geodezijo, Univerza v Ljubljani, (Ljubljana), 186 str.

PODOBNIKAR, T., 1998b: *Monte Carlo simulacije napak digitalnega modela višin.* Krevs, M., Perko, D., Podobnikar, T., Stančič, Z. (ur.): Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1997–1998. ZRC SAZU, (Ljubljana), str. 99–110.

PODOBNIKAR, T., STANČIČ, Z., OŠTIR, K., 1998: *Modelling erosion and deposition with GIS.* Peterson, J., Slapšak, B., Stančič, Z. (ur.) COST action G2 : paysages antiques et structures rurales : proceeding of a workshop Ljubljana. 27. april 1996, The use of Geographic Information Systems in the study of ancient landscapes and features related to ancient land use. Norwick: European commission, (Velika Britanija) str. 95–103.

PODOBNIKAR, T., 1999a: *Têrmina natančnost in točnost v geodeziji.* Geodetski vestnik, (Ljubljana), letnik 43, št.1, str. 49–55.

PODOBNIKAR, T., 1999b: *Le z natančnim DMR moremo izvajati učinkovite prostorske analize : Kakovostni digitalni model reliefa za Slovenijo.* Delo, (Ljubljana), 27. oktober 1999, leto 41, št. 250, str. 14.

PODOBNIKAR, T., 1999c: *Monte Carlo simulations in Slovenia : Modelling and visualisation of spatial data error.* GIM International, (Lemmer, Nizozemska), letnik 13, št. 7, str. 47–49.

PODOBNIKAR, T., 2000: *Analiza poselitve glede na geomorfološke značilnosti z metodo Monte Carlo.* Perko, D. (ur.): Geografski vestnik. Zveza geografskih društev Slovenije, (Ljubljana), št. 72–1, str. 87–100. http://www.zrc-sazu.si/zgds/pdf/gv72-1-podobnikar.pdf (zadnji obisk 7. 4. 2001).

PODOBNIKAR, T., STANČIČ, Z., OŠTIR, K., 2000: *Data integration for the DTM production.* Kosmatin Fras, M., Mussio, L., Crosilla, F. (ur.): ISPRS, Proceedings of the Workshop : International cooperation and technology transfer. Ljubljana, 2.–5. februar 2000, IGF, (Ljubljana), št. XXXII, del 6W8/1, str. 134–139. http://www.zrc-sazu.si/www/pic/pub/isprs_lj/isprs.pdf (zadnji obisk 7. 4. 2001).

PRESS, H. W., TEUKOLSKY, S. A., VETTERLING, W. T., FLANNERY, B. P., 1995: *Numerical Recipes*. The Art of Scientific Computing, Cambridge University Press, druga izdaja. http://www.ulib.org/webRoot/Books/Numerical_Recipes/ (zadnji obisk 12. 8. 2000).

RADINJA, D., 1991: *Porečje – povodje – vodozbirno območje in podobno*. Ujma, URSZR, str. 270–271.

RADOVAN, D., 1988a: *Interpolacijske metode v tematski kartografiji*. Raziskovalna naloga PORS, Končno poročilo, IGF, (Ljubljana), 121 str.

RADOVAN, D., 1988b: *Prostorske interpolacijske metode v avtomatizirani kartografiji*. Podiplomski študij ob nalogi, FAGG, Oddelek za geodezijo, Univerza v Ljubljani, (Ljubljana), 121 str.

RADOVAN, D., 1990: *Nekateri problemi reagregacije prostorskih podatkov pri arealnih interpolacijskih metodah*. Magistrska naloga, FAGG, Oddelek za geodezijo Univerza v Ljubljani, (Ljubljana), 131 str.

RADOVAN, D., 1992a: *Analitično kartografsko senčenje s psevdoslučanjnostnimi rastri*. Geodetski vestnik, (Ljubljana), letnik 36, št. 3, str. 250–255.

RADOVAN, D., 1992b: *Digitalni informacijski sistem reliefa*. Projekt Kompjuterizacija evidenc geodetske službe, Elaborat metodološko tehnoloških rešitev nastavitve in vzdrževanja, Razvojna naloga MVOUP in RGU, Izvajalec IGF, (Ljubljana), 45 str.

RADOVAN, D., 1992c: *Kako tudi s slabšim DMR do uspešnih aplikacij*. Pak, M. (ur.): Geografski informacijski sistemi v Sloveniji. Oddelek za geografijo Filozofske fakultete, Dela 9, (Ljubljana), str. 108–117.

RADOVAN, D., KOSMATIN FRAS, M., MRAVLJE, D., OVEN, K., PEČNIK, S., PETROVIČ, D., 1994a: *Možnosti izdelave digitalnega modela reliefa Slovenije*. Ekspertiza, IGF, (Ljubljana), december 1994, 40 str.

RADOVAN, D., PEČNIK, S., OVEN, K., PEGAN ŽVOKELJ, B., KIBAROVSKI, I., 1994b: *Projekt vzpostavitve in vodenja topografske baze manjše natančnosti*. Elaborat v treh delih, Razvojna naloga MOP in RGU, izvajalec IGF, (Ljubljana), 101 + 67 + 21 str. (elaborat vsebuje tudi izgubljeno poročilo o kakovosti DMR 100).

RADOVAN, D., 1995: *Obisk prof. dr. Karla Krausa v Ljubljani*. Geodetski vestnik, (Ljubljana), letnik 39, št. 2, str. 119–121.

RADOVAN, D., ZORE, I., PETROVIČ, D., PEGAN ŽVOKELJ, B., KOSMATIN-FRAS, M., SEVER, G., BRAJNIK, M., 1996: *Test kvalitete in vzdrževanje generalizirane kartografske baze*. Razvojna naloga MOP in GU, izvajalec IGF, podizvajalec Academa, (Ljubljana), 451 str.

RADOVAN, D., BERK, S., STOPAR, B., 1997: *Spojitev slovenskega in avstrijskega digitalnega modela reliefa*. Tehnično poročilo. Naročnik: GU, izvajalec: IGF, (Ljubljana), februar 1997, 29 + 34 str.

RADOVAN, D., STOPAR, B., 1997: *Spojitev slovenskega in avstrijskega državnega koordinatnega sistema ter digitalnega modela reliefa*. Geodetski vestnik, (Ljubljana), letnik 41, št. 4, str. 279–284. http://www.sigov.si/cgi-bin/spl/zgs/gv97_4/dalibor.html?language=csz (zadnji obisk 1. 9. 2000).

RADOVAN, D., 1998: *Digitalni model reliefa.* Pogačnik, A. (ur.): Geografski atlas Slovenije : Država v prostoru in času. DZS, (Ljubljana), str. 62–65.

RADOVAN, D., BERK, S., 1998: *Kontrola kvalitete digitalnega modela reliefa 25 m (DMR 25).* Tehnično poročilo. Naročnik: GU, izvajalec: IGF, (Ljubljana), avgust 1998, 33 str.

RADOVAN, D., JANEŽIČ, M., KOSMATIN FRAS, M., 1998: *Metodologija vzpostavitve (preciznega) digitalnega modela reliefa za mestno območje Ljubljane.* Raziskovalna naloga Mestne občine Ljubljana, izvajalec IGF, (Ljubljana), 35 str.

RADOVAN, D., JANEŽIČ, M., 2000: *Avtomatska kontrola logične konsistence 3D baze mestnega jedra.* Hladnik, D., Krevs, M., Perko, D., Podobnikar, T., Stančič, Z. (ur.): Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1999–2000. ZRC SAZU, (Ljubljana), str. 127–134.

RAJŠP, V., 1996: *Slovenija na vojaškem zemljevidu 1763–1787 – Karte. Josephinishe Landesaufnahme 1763–1787 für das Bebiet der Republik Slowenien – Karten.* ZRC SAZU, (Ljubljana).

RGU, 1981: (Republiška geodetska uprava SRS) *Pravilnik o tehničnih normativih za mreže temeljnih geodetskih točk.* (Ljubljana).

RGU, 1984: (Republiška geodetska uprava SRS) *Priročnik za vzdrževanje katastrskega operata lastninsko davčnega dela zemljiškega katastra.* Republiška geodetska uprava SRS, (Ljubljana).

RIBIČIČ, M., ŠINIGOJ, J., 1996: *Karte ogroženosti in tveganja zaradi plazov na območju Slovenije.* Černe, A., Hladnik, D., Hudnik, J., Krevs, M., Perko, D., Rener, R., Stančič, Z., Šumrada, Z. (ur.): Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1995–1996. (Ljubljana), str. 115–124.

RIEGER, W., 1992: *Hydrologische Anwendungen des digitalen Geländemodelles.* Institut für Photogrammetrie und Fernerkunding, Heft 39, Doktorska disertacija, (Dunaj, Avstrija), 97 str.

RIHTARŠIČ, M., 1990: *DMR – da ali ne?* Geodetski vestnik, (Ljubljana), letnik 34, št. 1, str. 119–127.

RIHTARŠIČ, M., 1991a: *Digitalni model reliefa.* Življenje in tehnika, (Ljubljana), letnik 42, št. 2, str. 51–55.

RIHTARŠIČ, M., 1991b: *Temeljni produkti digitalnih modelov reliefa.* Življenje in tehnika, (Ljubljana), letnik 42, št. 11, str. 25–32.

RIHTARŠIČ, M., FRAS, Z., 1991: *Digitalni model reliefa. 1 del: teoretične osnove in uporaba DMR.* – Univerza v Ljubljani, FAGG – KFK, (Ljubljana), 143 str.

RIHTARŠIČ, M., 1992a: *Baza digitalnih podatkov reliefa – nove možnosti 3D modeliranja reliefa.* Pak, M. (ur.): Geografski informacijski sistemi v Sloveniji. Oddelek za geografijo Filozofske fakultete, Dela 9, simpozij, (Ljubljana), str. 89–107.

RIHTARŠIČ, M., 1992b: *Nastavitev baze digitalnih podatkov reliefa na osnovi analogno/digitalne pretvorbe topografskih kart.* Magistrska naloga, FGG, Oddelek za geodezijo, Univerza v Ljubljani, (Ljubljana).

ROBINSON, A. H., MORRISON, J. L., MUEHRCKE, P. C., KIMERLING, A. J., GUPTILL, S. C., 1995: *Elements of Cartography.* 6th ed., John Wiley & Sons, New York.

ROTAR, J., 1999: Osebni pogovori, (Ljubljana) – december 2000.

ROZMAN, J., RADOVAN, D., 1985: *Uporaba laserske elektrografije pri računalniškem sestavljanju tekstov in slik, ter pri računalniški kartografiji.* Končno poročilo, Raziskovalna naloga PORS, IGF, (Ljubljana), 31 str.

ROZMAN, J., 1995: *Možnosti izdelave digitalnega modela reliefa R Slovenije.* Študija, Ministrstvo za okolje in prostor, (Ljubljana), januar 1995, 22 str.

ROZMAN, J., 2000a: *Digitalni model reliefa in satelitske ortofoto karte.* Geodetski vestnik, (Ljubljana), letnik 44, št. 3, str. 185–195.

ROZMAN, J., 2000b: *Digitalni model reliefa.* http://www.mo-rs.si/mors/slo_win/page1.htm (zadnji obisk 7. 9. 2000).

RUIZ, A., 2000: *A countrywide TIN elevations database.* International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, št. XXXIII, del B3, str. 785–791, (Amsterdam, Nizozemska).

RUIZ, A., 2001: *TIN Database Issues : Managing 300 Million Irregularly Distributed Height Points.* GIM international, (Lemmer, Nizozemska), letnik 15, št. 2, str. 12–15.

RUSSELL, E., KUMLER, M., OCHIS, H., 1995: *Identifying and removing systematic errors in USGS DEMs.* GIS in the Rockies conference Proceedings (poster), (Denver, Kolorado, ZDA), 25.–27. September. http://www.ctmap.com/gis_journal/techno.html (zadnji obisk 9. 1. 2001).

RUSSELL, E., OCHIS, H., 1995: *Mitigation Methods for Systematic Errors in USGS DEMs.* (ZDA). http://www.ctmap.com/gis_journal/techno.html (zadnji obisk 9. 1. 2001).

SCHNEIDER, B., 1998: *Geomorphologically Plausible Reconstruction of the Digital Representation of Terrain Surfaces from Contour Data.* Doktorska disertacija, Department of Geography, University of Zürich, (Švica). http://www.geo.unizh.ch/gis/research/dtm/projects/ (zadnji obisk 25. 12. 2000).

SCHUT, G. H., 1973: *Evaluation of Some Interpolation Methods.* Photogrammetric Research, Division of Physic, National Research Council of Canada, (Ottawa, Kanada), 17 str.

SCHUT, G. H., 1976: *Review of interpolation methods for digital terrain models.* XIIIth congress of the International Society for Photogrammetry. Commission III, (Helsinki, Finska).

SAI, 2000: *SAI GI & GIS Project*. http://gi-gis.aris.sai.jrc.it/ (zadnji obisk 8. 7. 2001).

SCOP, 1995: *Theory manual (Annex to the SCOP User manual).* Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, Vienna University of Technology, (Avstrija).

SCOP, 1999: *SCOP 3.4 E User Manual.* Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, Vienna University of Technology, (Avstrija).

SCOP, 2000: *Product information*. Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien, (Avstrija). http://www.ipf.tuwien.ac.at/produktinfo/scop/englisch/scop_e.html (zadnji obisk 1. 2. 2001).

SCOP.TDM, 1999: *Topographic Data Management.* Institute for Photogrammetry and Remote Sensing, Vienna University of Technology, (Avstrija).

SKIDMORE, A. K., 1997: *GIS Applications and use of digital terrain modelling*. Joint European Conference and Exhibition on Geographical Information, Austria Center, (Dunaj, Avstrija), št. 1, str. 442–463.

SPRING, 1996: (Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas) *Geoprocessing Tutorial.* Instituto nacional se pesquisas espaciais. (Brazilija). http://sputnik.dpi.inpe.br/spring/teoria/mnt/mnteng.htm (zadnji obisk 24. 12. 2000).

SSKJ, 1970–1991: (Slovar slovenskega knjižnega jezika) SAZU, Inštitut za slovenski jezik, DZS, (Ljubljana).

STANČIČ, Z., 1992: *Geografski informacijski sistemi in digitalna obdelava slik v arheoloških prostorskih raziskavah.* Doktorska disertacija, FAGG, Oddelek za geodezijo, Univerza v Ljubljani, (Ljubljana).

STANČIČ, Z., OŠTIR, K., PODOBNIKAR, T., 1999: *1. Poročilo o rezultatih testiranja nekaterih podatkov Geodetske uprave RS. 2. Možnost izdelave DMR-ja iz obstoječih podatkov Geodetske uprave RS.* Študija. Naročnik: GU, izvajalec: ZRC SAZU, (Ljubljana), 40 str.

STANČIČ, Z., OŠTIR, K., PODOBNIKAR, T., VEHOVAR, Z., 2000a: *Pridobivanje in uporaba podatkov visoke ločljivosti pri načrtovanju omrežja mobilne telefonije.* Jagodič, M., Štular, M. (ur.): Mobilnost v telekomunikacijah : Deseta delavnica o telekomunikacijah : VITEL. Zbornik referatov, Elektrotehniška zveza Slovenije, (Ljubljana), str. 1–8.

STANČIČ, Z., PODOBNIKAR, T., OŠTIR, K., 2000b: *Izdelava DMV 100.* Elaborat. Naročnik: GU, izvajalec: ZRC SAZU, (Ljubljana), 12 str.

STANČIČ, Z., PODOBNIKAR, T., OŠTIR, K., VELJANOVSKI, T., 2000c: *Izdelava digitalnega modela višin z radarsko interferometrijo.* Končno tehnično poročilo. Naročnik: GU, Ljubljana, izvajalec: ZRC SAZU, (Ljubljana), 165 str.

STANČIČ, Z., PODOBNIKAR, T., OŠTIR, K., VELJANOVSKI, T., 2000d: *Projekt izdelave digitalnega modela višin in digitalne karte rabe tal.* Zaključno poročilo projekta. Naročnik: Mobitel, d. d., izvajalec: ZRC SAZU, (Ljubljana), 100 str.

STANONIK, B., 1995: *Digitalni model reliefa Republike Slovenije. Pregled možnosti in zahtev.* GU in Geoinformacijski center, (Ljubljana), 15 str.

STOPAR, B., 1997: *Računalniški program za transformacijo tridimenzionalnih koordinatnih sistemov PROTRA.* FGG, Univerza v Ljubljani, (Ljubljana).

STOPAR, B., KUHAR, M., 1997: *Astrogeodetska mreža Slovenije in geoid.* Geodetski vestnik, (Ljubljana), letnik 41, št. 2, str. 91–100.

STOPAR, B., 1998: *Transformacija ITRS (ETRS89) koordinatnega sistema v državni koordinatni sistem in obratno.* FGG, Univerza v Ljubljani, (Ljubljana).

STOPAR, B., KUHAR, M., 2000: *National and modern geodetic coordinate systems in Slovenia.* Kosmatin Fras, M., Mussio, L., Crosilla, F. (ur.): ISPRS, Proceedings of the Workshop : International cooperation and technology transfer. Ljubljana, 2.–5. februar 2000, IGF, (Ljubljana), št. XXXII, del 6W8/1, str. 148–154.

SUDA, S., 1974: T*ehnologija održavanja karte 1:25.000.* Vojnogeografski institut, (Beograd), str. 113–122.

SVETIK, P., 1980: *Zapisnik sestanka.* 29.12.1980.

ŠUMRADA, R., 1989: *Programska oprema za avtomatsko kartiranje in izvrednotenje modela terena s plastnicami ob podpori mikroračunalnika.* Geodetski vestnik, (Ljubljana), letnik 32, št. 3–4, str. 19–32.

ŠUMRADA, R., 1997: *Geografske informacije – Opis podatkov – Kvaliteta. – Slovenska verzija evropskih standardov (CEN).* Prevod iz angleščine, (Ljubljana).

ŠUMRADA, R., 1999: *Razvoj slovenskih standardov za prostorske podatke.* Geodetski vestnik, (Ljubljana), letnik 43, št. 1, str. 67–72.

TAKAGI, M., 2000: *Relationship between spatial resolution and terrain feature in DEM accuracy*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, (Amsterdam, Nizozemska), št. XXXIII, del B4, str. 1033–1037.

TAVČAR, D., 1998: *Obdelava GPS opazovanj v projektu EUREF – Slovenija'95 z Bernese GPS Softwarejem*. Diplomska naloga, FGG, Oddelek za Geodezijo, Univerza v Ljubljani, (Ljubljana).

TEMPFLI, K., 1980: *Spectral analysis of terrain relief for the accuracy estimation of digital terrain models.* XIVth ISP Congress, Commision II, (Hamburg, Nemčija).

TEMPFLI, K., 1986: *Progressive Sampling – fidelity and accuracy.* ISPRS, Com. III, (Rovaniemi, Finska), str. 653–664.

TEMPFLI, K., 1999a: *Digital Terrain Modelling.* Skripta, ITC, (Nizozemska).

TEMPFLI, K., 1999b: *DTM Accuracy Assessment*. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS).

TERRAINBASE, 2000: (*TerrainBase Global Terrain Model Summary Documentation*) NGDC (ZDA), ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/Solid_Earth/Topography/tbase_5min/tbase.txt (zadnji obisk 7. 12. 2000).

THEOBALD, D. M., 1992: *Accuracy and bias issues in surface representation (Chapter 9).* Goodchild, M., Gopal, S. (ur.): Accuracy of spatial databases. Taylor & Frances, str. 99–106.

TOMLIN, C. D., 1990: *Geographic Information Systems and Cartographic Modelling.* Prentice Hall, Englewood Cliffs, (New Jersey, ZDA).

TORLEGÅRD, K., ÖSTMAN, A., LINDGREN, R., 1982: *A comparative test of photogrammetrically sampled digital elevation models.* Photogrammetria, letnik 41, št. 1, str. 1–16.

USGS, 1998: (United States Geodetic Survey) *Digital Elevation Model Standards.* http://rmmcweb.cr.usgs.gov/public/nmpstds/demstds.html, http://rockyweb.cr.usgs.gov/nmpstds/demstds.html (zadnji obisk 31. 12. 2000).

USGS, 2000: (United States Geodetic Survey) *National Mapping Program Standards*. (ZDA). http://mapping.usgs.gov/standards/index.html (zadnji obisk 4. 11. 2000).

USIGS Glossary, 1998: (United States Imagery and Geospatial Information System) National Imagery and Mapping Agency, (ZDA). http://www.nima.mil/sandi/arch/products/nug/nug_main_fr.html (zadnji obisk 27. 8. 2000).

USM, 1999: *Mednarodni slovar osnovnih in splošnih izrazov s področja meroslovja : International vocabulary of basic and general terms in metrology : Vocabularie international des termes fondamentaux et généraux de métrologie : Internationales Wörterbuch der Metrologie*. Urad RS za standardizacijo in meroslovje, 102 str.

VANÍČEK, P., KRAKIWSKY, E. J., 1991: *Geodesy: The Concepts*. Elsvier Science Publications, (Amsterdam).

VELJANOVSKI, T., STANČIČ, Z., OŠTIR, K., PODOBNIKAR, T., ŠPRAJC. I., 2000: *Izdelava arheološkega napovedovalnega modela za potrebe načrtovanja avtocestnega odseka v Prekmurju*. Hladnik, D., Krevs, M., Perko, D., Podobnikar, T., Stančič, Z. (ur.): Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1999–2000. ZRC SAZU, (Ljubljana), str. 177–186.

VEREGIN, H., 1997: *The effects of Vertical Error in Digital Elevation Models on the Determination of Flow-path Direction.* Cartography and Geographic Information systems, letnik 24, št. 2, str. 67–79.

VEREGIN, H., HARGITAI, P., 1995: *An evaluation matrix for geographical data quality.* Guptill, S. C., Morrison, J. L. (ur.): Elements of spatial data quality. Elsevier, str. 167–188.

VIDRIH, R., 2000: *Premiki ob potresih lahko spremenijo zemeljsko površje (1).* Delo, (Ljubljana), 18.1.2000, leto 42, št. 14, str 12.

VODOPIVEC, F., 1996: *Projekt uvajanja sodobnih geodetskih tehnologij v Republiki Sloveniji.* Elaborat, FGG, Katedra za geodezijo, (Ljubljana).

VOGT, S., 2001: *Knowledge-based metadata processing in an Antartic Spatial Decision Support System*. Belward, A., Binaghi, E., Brivio, P. E., Lanzarone, G. A., Tosi, G. (ur.): International Workshop on Geo-Spatial Knowledge Processing for Natural Resource Management, 28.–29, University of Insubria. junij 2001, (Varese, Italija), str. 189–192.

VUKADINOVĆ, S., POPOVIĆ, J., 1989: *Metoda Monte-Karlo*. Saobračajni fakultet, Beograd.

WARE, J. M., KIDNER, D. B., HERBERT, M. J., 1996: *Terrain in perspective: DEMs or TINs.* Joint European Conference and Exhibition on Geographical Information, Placio de Congresos, (Barcelona, Španija), št. 1, str. 388–397.

WEIBEL, R., 1989: *Concepts and Experiments for the Autimatisation of Relief Generalisation.* (Švica). http://www.geo.unizh.ch/gis/research/dtm/projects/ (zadnji obisk 7. 1. 2001).

WEIBEL, R., HELLER, M., 1991: *Digital terrain modelling.* Maguire, D. J., Goodchild, M. F., Rhind, D. W. (ur.), Geographical Information Systems: Principles and Applications. Longman Scientific & Technical, England, (Velika Britanija), str. 269–297.

WEIBEL, R., 1997: *Digital terrain modelling for environmental applications – a review of techniques and future trends.* Joint European Conference and Exhibition on Geographical Information, Austria Center, (Dunaj, Avstrija), št. 1, str. 464–474.

WENZHONG, S., EHLERS, M., TEMPFLI, K., 1994: *Modelling and visualizing uncertainties in multi-data-based spatial analysis.* EGIS/MARI '94, (Amsterdam, Nizozemska), št. 1, str. 454–464. http://www.odyssey.maine.edu/gisweb/spatdb/egis/eg94051.html (zadnji obisk 9. 1. 2001).

WIGGENHAGEN, M., 2000: *Development of real-time visualization tools for the quality control of digital terrain models and orthoimages.* International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, (Amsterdam, Nizozemska), št. XXXIII, del B2, str. 987–993.

WIRZ, D., 2001: *Pluggable Terrain Module – An implementation architecture for distributed digital terrain modelling*. 4th AGILE Conference on Geographic Information Science, 19.–21. april 2001, (Brno, Češka), str. 376–384.

WOOD, J. D., FISHER, P. F., 1993: *Assessing interpolation accuracy in elevation models.* IEEE Computer Graphics and Applications, letnik 13, št. 2, str. 48–56.

WOOD, J., 1996: *The Geomorphological Characterisation of Digital Elevation Models.* Doktorska disertacija, Department of Geography, University of Leicester, (Velika Britanija). http://www.geog.le.ac.uk/jwo/research/dem_char/thesis/index.html (zadnji obisk 2. 1. 2001).

WOOD, J., 1999: *Visualisation of Scale Dependencies in Surface Models*. International Cartographic Associatation Annual Conference, Ottawa, 1999 (Kanada). http://www.soi.city.ac.uk/~jwo/ica99/ (zadnji obisk 12. 8. 2001).

WYATT, P., 2000: *The Interpolation Process.* Directions Magazine, (ZDA). http://www.directionsmag.com/article.asp?articleid=52 (zadnji obisk 16. 12. 2000).

YOELI, P., 1983: *Shadowed Contours with Computer Plotter.* The American Cartographer, (ZDA), letnik 10, št. 2, str. 101–110.

ZIMMERMANN, H.-J., 1991: *Fuzzy Set Theory and Its Applications*. Kluwer Academic Publishers, (Boston/Dordrecht/London).

ŽIBERNA, I., 1992: *Primer uporabe GIS-a v topoklimatski analizi pokrajine za potrebe vinogradništva.* Pak, M. (ur.): Geografski informacijski sistemi v Sloveniji. Oddelek za geografijo Filozofske fakultete, Dela 9, (Ljubljana), str. 175–185.

Slika na naslovnici je vizualizacija referenčnega digitalnega modela višin Slovenije, ki je bil izdelan in uporabljen v okviru doktorske disertacije.

STVARNO KAZALO

A

abstrakcija, 65, 116, 281, 303
algebra karte, 61, 162, 186, 281
Alpe, 225
analiza
  hidrološka, 79, 90–93, 129, 142, 149, 181, 184, 189, 191, 199, 211
  implicitnih informacij, 64
  mrežna, 93
  trenda ploskve, 188, 282
analogni model reliefa, 25–31
antropogene danosti, 17, 20, 84, 119, 120, 142, 146, 147, 199, 202, 206, 210, 235, 252, 263, 282
ANUDEM. *Glej* programska oprema
AOP-kartica, 38
aproksimacija, 80
avtokorelacija, 80, 82, 96, 132, 133, 229, 230, 282
ažurnost, 21, 282

B

Besslov elipsoid 1841. *Glej* elipsoid
BEV, 129, 136, 278, 305
bipolarno diferenciranje, 93, 128, 193, 194, 196
Bled, 153, 179, 226
blokovni diagram, 30, 143, 144
brda. *Glej* gričevje

C

CAD, 34, 305
CAS, 41, 56, 57, 305
CBPS, 18, 69, 143, 150, 158, 200, 201, 269, 305
celična mreža. *Glej* struktura
CEN. *Glej* standard
CEPP, 204, 206, 305

Č

črta, 19, 48, 73, 282
  lomna, 76, 82, 141, 150, 185, 199, 205, 290
  obalna, 126, 293
  oblikovna, 76, 82, 141, 142, 150, 185, 199, 293
  rečna, 25, 177
  referenčna, 135
  značilna, 35, 45, 54, 64, 72, 73, 76, 82, 84, 87, 89, 92, 149, 175, 181, 185, 191, 203, 303
črtkanje, 27, 28, 29, 30, 282
  naklonsko, 28, 29
  skalno, 28, 30

D

D48. *Glej* datum
daljica, 74, 283
daljinsko zaznavanje, 18, 21, 30, 31, 56, 58, 69, 70, 74, 115, 124, 145, 204, 281, 283
DARS, 263, 305
datum
  astrogeodetski, 100
  geodetski, 99, 108, 285
    D48, 106, 305
    geocentrični, 100
    horizontalni, 101
    pretvorba, 113–15
    vertikalni, 101, 105

DBMS, 205, 305
deduktivnost, 57, 60, 210, 283
DEM. *Glej* digitalni model višin
deterministični pristop, 80, 82, 283
digitalizacija, 31, 34, 36, 45, 46, 69, 125, 209, 256, 283
  ročne, 38, 69, 70, 85
  samodejna, 69
digitalni model reliefa, 17, 18, 31–33, 283
  definicija, 64–65
  funkcije za opis, 79–115
  kakovost, 116–35
  koncept izdelave, 139–207
  metode za analizo, 135–37
  modeliranje, 63–137
  možnosti izdelave, 60–61
  obdelava, 184–92
  podatki, 68–73
  predobdelava, 151–84, 239–42
  struktura, 73–79
  uporaba, 46–51
  upravljanje, 192–207
digitalni model višin, 18, 283
  referenčni, 158–59
diskretne vrednosti, 64, 66, 74, 79
distribuirana zbirka podatkov, 205, 212, 277, 283
DKS. *Glej* koordinatni sistem
DMR. *Glej* digitalni model reliefa
  10, 46, 250
  10 Ljubljanskega gradu, 46, 251
  10 mesta Ljubljane, 46, 250
  100, 34, 37, 243
  20, 46, 250
  25, 41, 245
  500, 40, 245
DMV. *Glej* digitalni model višin
  referenčni (refDMV), 148, 151, 158, 159, 160, 193, 201, 272
DOF. *Glej* ortofoto
dolina, 76, 86, 90, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 284
dolinska črta, 90, 91, 128, 148, 150, 284
Državna topografska karta (DTK), 19, 30, 257
DTK. *Glej* Državna topografska karta
DTM. *Glej* digitalni model reliefa

E

ekspozicija površja, 29, 48, 50, 64, 72, 133, 135
ekstrapolacija, 80, 88, 89, 90, 177, 181, 284
ekvidistanca, 39, 45, 72, 84, 88, 89, 132, 137, 196, 197, 202, 284
elipsoid
  Besslov 1841, 98, 102, 106, 108, 111, 113, 114
  GRS80, 107, 305
  referenčni, 99, 104, 106, 298
  WGS84, 102, 104, 107, 108, 111, 112, 113, 114, 302, 307
empiričnost, 41, 50, 72, 80, 88, 95, 98, 123, 132, 134, 148, 170, 179, 202, 206, 210, 284
entiteta. *Glej* objekt
ERS, 18, 43, 44, 305
ESA, 44, 305
ESRI, 279. *Glej* programska oprema
ETOPO5, 32
ETRS89. *Glej* koordinatni sistem
EVRS. *Glej* koordinatni sistem

F

FGDC. *Glej* standard
FGG, 35, 305
filtriranje, 185, 284
  glajenje, 96, 185, 188, 262, 278
  napak, 124
fotogrametrija, 30, 41, 56, 67, 69, 70, 84, 85, 137, 142, 155, 181, 284
  digitalna, 31, 43
fraktal, 18, 64, 70, 128, 131, 133, 284
frekvenca, 44, 71, 132, 166, 285

G

Gauss-Krügerjeva projekcija. *Glej* kartografska projekcija
geodezija, 35, 47, 98, 103, 285
geografska enota, 145, 285
geografski informacijski sistem, 17, 126, 203, 285
geoid, 49, 99, 106, 111, 286
geoinformatika. *Glej* geomatika
geokodiranje, 44, 94, 115, 204
geomatika, 286
geomorfologija, 20, 47, 66, 76, 85, 91, 127, 149, 188, 286
geopotencial. *Glej* gravitacijski potencial
geostatistika, 82, 286
GIS. *Glej* geografski informacijski sistem
GKB, 252–59, 305
  ceste, 131, 259
  hidrografija, 92, 142, 200, 203, 259
  relief, 91, 141, 154, 159, 169, 189, 191, 200, 201, 255

železnice, 131, 259
GLOBE, 32, 251
gorovje, 25, 147, 188, 236, 286
GPS. *Glej* sistem globalnega določanja položaja
GRASS. *Glej* programska oprema
gravitacijski potencial, 99, 287
greben, 27, 88, 90, 173, 194, 287
grebenska rez, 287
gričevje, 147, 188, 236, 287
GRS80. *Glej* elipsoid
GTOPO30, 32, 251, 305
GU, 17, 41, 45, 47, 95, 103, 140, 205, 305

H

Hermitovi poligoni, 97
hidrologija, 47, 276, 287
histogram, 132, 196
dvorazsežni, 75
relativni, 196
hribovje, 27, 147, 188, 236, 287

I

Idrisi. *Glej* programska oprema
IGF, 35, 36, 38, 49, 204, 230, 306
Ikonos, 18, 155
ILWIS. *Glej* programska oprema
informacija, 17, 47, 287
implicitna, 135–37, 140, 204
o kakovosti, 64, 116–35, 140, 205
o strukturi, 64, 73–79, 205
semantična, 65, 81
InSAR, 306
DMV 100, 45, 249
DMV 25, 18, 43, 50, 95, 166, 197, 248
interferometrija, 287
radarska, 33, 36, 43, 69, 199
Intergraph. *Glej* programska oprema
interpolacija, 59, 80–82, 287
Bézierove zaplate ploskev, 76
bilinearna, 42, 94, 154
bivariantna, 76
globalna, 80
interval, 88
kriging, 82
kubična konvolucija, 94
LIDIC, 86, 87–90, 180, 306
linearna, 76, 86, 87, 137, 179
linearna predikcija, 21, 82, 289
lokalna, 80, 94
metoda
hkratne interpolacije, 61, 142, 185
najbližjega soseda, 94
najmanjših kvadratov, 80, 82
utežnega seštevanja, 61, 185–90
napake, 126, 154
plastnic, 38
polinomska, 49
približne metode, 81, 142
raztresenih točk, 38, 94
ročna, 69
SIFI, 89
točne metode, 142
utežna obratna razdalja (IDW), 83
zlepek, 83, 95, 97, 129, 195
ISO. *Glej* standard
ITRS89. *Glej* koordinatni sistem

J

jezik
programski. *Glej* programski jezik

K

kakovost, 126–35, 288
dejanska ocena, 127, 141, 143, 192–98
elementi, 117, 284
izboljšanje, 140, 149
kontrola, 19, 39, 141, 151–58, 160–75, 204
metapodatki, 19, 117, 173, 184, 189, 200, 204, 206–7, 290
model, 116, 117
nedoločljiva, 125, 143, 148, 200
nezadostna, 148, 187, 200, 202
parametri, 126, 127, 132, 126–35, 149, 186
predhodna ocena, 127, 140, 149
različna, 18, 81, 140
slaba, 140
standardi, 117
visoka, 19, 124, 139
zahtevana, 148, 200
Kamniške Alpe, 153, 155, 157, 159, 178
karta, 19, 25, 31, 38, 69, 70, 288
geološka, 179
letalska, 104
metalogenetska, 230
pomorska, 47, 104
topografska
Državna. *Glej* Državna topografska karta
vegetacijska, 230
kartografija, 47, 68, 128, 288
kartografska projekcija, 27, 103, 104, 288
Gauss-Krüger, 98, 104, 106, 110, 285
UTM, 98, 104, 107, 302

klasifikacija, 81, 86, 87, 125, 141, 145, 230, 288
kodiranje virov, 150
kontingenčna tabela, 289
koordinatni sistem, 27, 94, 98–115, 289
  državni (DKS), 32, 106–7, 108
  ETRS89, 107–8
  EVRS, 105
  globalni, 98
  horizontalni, 103, 104
  ITRS9, 107
  lokalni, 41
  NAP, 105
  vertikalni, 103, 105
Koper, 226
Koprski zaliv, 46
kóta, 29, 38, 150, 158, 160, 254, 270, 289
kotanja. *Glej* kotlina
kotlina, 146, 289
kras, 39, 50, 93, 146, 201, 289
Kras, 154, 155, 156, 226
Krim, 50, 195, 198, 226
Krško, 49, 154, 155, 156, 177, 178, 180, 225

L

Landsat, 51, 230, 232
laser, 32, 67, 182, 200, 212, 289
LIDIC. *Glej* interpolacija
linearna predikcija. *Glej* interpolacija
Ljubljana, 35, 46, 164
Ljubljansko barje, 188, 195
ločljivost, 32, 54, 70–73, 83, 91, 151, 159, 196, 205, 290
logična usklajenost, 118, 256, 290

M

Maribor, 44
mehka logika, 42, 125, 126, 129, 240, 290
merilo, 70–73, 290
metapodatki. *Glej* kakovost
metoda
  grobe ocene, 32, 133, 142, 159, 181, 182, 290
  hkratne interpolacije. Glej interpolacija
  Monte Carlo, 130, 133, 291. *Glej* vidnost test statistične značilnosti, 50
  utežnega seštevanja. Glej interpolacija
model, 48, 50, 58, 63, 64, 75, 117, 139, 145, 291
  kakovosti. *Glej* kakovost
mozaičenje, 60, 61, 79, 96–98, 142, 169, 186, 211, 291, 301
mreža
  celična. *Glej* struktura
  hidrološka, 91, 92, 93, 129
  točk. *Glej* struktura
mrežna celica, 38, 95, 291

N

nadvišanje, 197, 292
naključna števila, 292
naklon površja, 27, 83, 135, 146, 148, 231, 292
  povprečni, 72
Nanos, 51
NAP. *Glej* koordinatni sistem
napaka, 151, 160–75, 239, 292
  groba, 123, 124, 256
  izvedenih podatkov, 124, 292
  izvornih podatkov, 124, 292
  naključna, 123
  sistematska, 123
NASA, 32, 306
natančnost, 120, 121, 238, 292
  časovna, 121, 282
  horizontalna, 123
  položajna, 121, 124, 295
  tematska, 121, 124, 301
  vertikalna, 123
nedoločljivost. *Glej* kakovost
Novo mesto, 46, 226
Nyquistov teorem. *Glej* vzorčenje

O

objekt, 119, 120, 293
  prostorski, 82, 296
oblikovnica, 29, 71, 293
območje, 48, 73, 119, 120, 293
  evklidske oddaljenosti, 125, 293
  standardno, 148, 236
  testno, 225
  značilno, 303
odklon, 120, 124, 293
  naključni, 121, 123, 160
  navpičnice, 100
  srednji, 122, 135, 141, 149
  srednji kvadratni, 71, 72, 73, 115, 121, 122, 135, 149, 161, 166, 168, 173, 299
  standardni, 72, 82, 121, 124, 141, 160, 186, 300
odvodnica, 293
OpenGIS. *Glej* standard
operacije
  analitične, 37, 282
  matematične, 162

prenosa napak, 125
sosedstva, 293
ortofoto, 35, 41, 56, 93, 129, 192, 294
ovojnica, 182, 225, 294

P

padnica, 18, 64, 142, 181, 256, 294
parameter, 71, 80, 106, 207, 294
PAS, 42, 46, 306
piksel, 294
planota, 147, 294
plastnica, 29, 72, 84, 85, 86, 88, 89, 93, 137, 141, 143, 152, 155, 156, 157, 177, 178, 183, 195, 202, 239, 257, 258, 262, 294
ploskev
evklidske oddaljenosti, 294
stroškovna, 88, 89, 128, 300
trenda, 188, 211
pobočje, 44, 147, 169, 182, 295
podatek, 68, 83, 84, 85, 86, 88, 94, 121, 124, 151, 175, 178, 181, 184, 192, 200, 203, 235, 241, 263, 269, 295
potencialni, 149, 165, 169
prostorski, 17, 50, 116, 117, 173, 297
podatkovni sloj, 17, 48, 94, 145, 229, 295
podoba, 74, 295
podobnostna transformacija, 108, 113, 114, 304
področje obravnave, 58, 79, 116, 119, 122, 125, 295
pojav, 44, 48, 64, 80, 146, 295
Polhograjsko hribovje, 50
Polhov Gradec, 90, 184, 195, 226
popolnost, 118, 126, 295
porazdelitev, 81, 83
enakomerna, 135
naključna, 292
neenakomerna, 56, 135
nepravilna, 296
normalna, 128
poselitve, 50
pravilna, 296
porečje. *Glej* analiza, rečna mreža
poreklo, 296
posnetek, 32, 69
potencialna vidnost, 198
povezanost, 296
povodje. *Glej* analiza, rečna mreža
površje, 17, 25, 63, 67, 116, 145, 146, 183, 229, 231, 232, 296
ukrivljenost, 72, 83, 128, 133, 146, 147, 229, 231
preklasifikacija, 125, 238, 296
Prekmurje, 51, 106, 166, 226
prekrivanje, 48, 61, 96, 125, 129, 151, 186, 296
logično, 290
matematično, 290
prelaz. *Glej* sedlo
prelomnica. *Glej* lomna črta
prevzorčenje, 43, 71, 75, 94–95, 115, 137, 169, 179, 296
prikaz
aksonometrični, 39, 48
dinamični, 31, 57
kartografski, 25
perspektivni, 30, 38
zemeljskega površja, 25, 27, 29, 30, 66, 288
primernost, 51, 65, 68, 70, 116, 175, 244
programska oprema, 275–80
ANUDEM, 83, 276, 279, 304
ESRI, 305
AML. *Glej* programski jezik
Arc/Info, 279
ArcView, 279
Topogrid, 83, 95, 183, 194, 276, 279
GRASS, 275, 305
Idrisi, 49, 50, 88, 275, 278
ILWIS, 275
Intergraph, 49, 76, 275
SCOP, 76, 82, 92, 93, 95, 134, 137, 182, 191, 195, 204, 205, 212, 276–79, 298, 306
Surfer, 82, 276
programski jezik
AML, 279, 304
C, 275
UML, 117
VRML, 33
X3D, 33
projekcija. *Glej* kartografska projekcija

R

radar, 32, 36, 43, 45, 69, 168, 199, 297
RADARSAT, 18, 306
raster, 74, 125, 202, 297
rastriranje, 39, 74, 80, 88, 89, 125, 162, 185, 188, 297
ravan. *Glej* ravnina
ravnina, 147, 169, 181, 188, 297
razgibanost površja, 27, 71, 72, 76, 83, 119, 133, 142, 146, 147, 148, 161, 188, 229, 297
razsežnost, 101, 297

-2,5, 79, 81
-dvo, 65, 75, 79, 103, 176
-eno, 121
-tri, 28, 49, 57, 103, 120, 136
-več, 57
razvodnica, 18, 128, 176, 177, 178, 191, 259, 297
rečna mreža, 18, 58, 91, 92, 126, 146, 147, 150, 159, 161, 176, 182, 230, 234, 298
refDMV. *Glej* DMV
regionalizacija, 89, 91, 140, 145–49, 164, 229–42, 298
relief, 25, 31, 63, 116, 298
reper, 266, 298
fundamentalni, 101
normalni, 105
REZI, 262, 306
RMSD, 122, 306
RPE, 262, 306

S

SAR, 306
SCOP. *Glej* programska oprema
sedlo, 87, 90, 91, 148, 150, 298
semantika, 65, 80, 116, 126, 128, 212, 257, 259, 299. *Glej* informacija
senčenje površja, 27, 29, 48, 49, 71, 95, 128, 130, 136–37, 179, 212, 299
SIFI. *Glej* interpolacija
sistem globalnega določanja položaja, 19, 299
skelet modela, 64
skelet reliefa, 84, 85, 86, 91, 146, 147, 162, 181, 182, 191, 205, 210, 212, 299
skeletnica. *Glej* črta
skeniranje, 69, 252, 261, 299
lasersko, 32, 67, 69, 70, 182, 200, 212
sleme. *Glej* greben
slojnica. *Glej* plastnica
specifikacija vsebine, 22, 36, 119, 299
SPOT, 18, 31, 36, 43, 56, 57, 69, 306
SPOT DMV 20, 43, 247
spremenljivka, 51, 121, 124, 299
regionalizacij, 146–47, 229–36
srednji nivo morja, 99, 101, 105, 300
SRTM, 32, 45, 306
standard
CEN, 117, 305
FGDC, 117, 305
ISO, 117, 306
OpenGIS, 117
SDTS, 254
USGS, 32, 117, 119, 134, 306
USM, 117, 306
standardna elipsa zaupanja, 300
statistika, 47, 58, 281, 300
opisna, 141, 163
prostorska. *Glej* geostatistika
stohastika, 80, 300
stoječe vode, 18, 91, 142, 143, 146, 147, 159, 161, 180, 185, 230, 235, 300
struktura
celična mreža, 73, 74–75, 77, 78, 87–90, 282
druge, 77
hibridna, 59, 72, 73, 76–77, 78, 137, 140, 212, 279, 287
mreža točk, 21, 69, 74, 75, 76, 130, 197, 291
nepravilna trikotniška mreža (TIN), 66, 73, 75–76, 78, 86–87, 293, 306
primerjava, 77–79
vektorska, 36, 46, 69, 73, 89, 302
žični model, 74, 75, 130
stvarnost, 41, 116, 300
Surfer. *Glej* programska oprema

T

TBVN, 137, 200, 201, 262, 306
téma, 40, 120, 300
terminologija, 281
teselacija, 75, 301
Thiessenovi poligoni, 89
TIN. *Glej* struktura
TK, 38, 257, 306
TKN, 34, 46
točka, 48, 73, 160, 188, 270, 301
dno vrtače. *Glej* vrtača
geodetska, 201, 265–68
raztresena, 35, 38, 54, 76, 94, 141, 150, 181, 182, 185
referenčna, 135, 199
sedelna. *Glej* sedlo
višinska. *Glej* kóta
vrh. *Glej* vrh
značilna, 35, 45, 54, 64, 76, 87, 89, 149, 150, 175, 181, 185, 191, 199, 203, 303
točnost, 120, 121, 238, 295, 301
topografija, 25, 27, 35, 46, 47, 67, 132, 136, 201, 204, 212, 301
topologija, 59, 84, 234, 257, 301
triangulacija, 75, 86, 102, 205, 278, 301
Triglav, 129, 172, 190, 194, 196, 197, 200, 226
TTN, 37, 56, 71, 152, 154, 155, 156, 157, 189, 260, 306

U

uporaba, 116, 117, 301
USGS. *Glej* standard
USM. *Glej* standard
utežna sredina, 88, 94, 97, 186, 238, 302
UTM. *Glej* kartografska projekcija

V

vektorizacija, 18, 46, 203, 252, 302
  polsamodejna, 56, 69, 70, 152, 181
  zaslonska, 69, 70
verjetnostni pristop, 302
vidnost, 45, 47, 48, 277
  simulacija Monte Carlo, 50, 51, 198
višina
  elipsoidna, 100, 108, 110–12, 284
  geoidna, 99, 100, 108, 110–12, 266, 286
  nadmorska, 17, 29, 79, 105, 111, 163, 180, 186, 232, 291
  ortometrična, 68, 108, 110, 291, 304
  povprečna nadmorska, 50, 163, 164
  relativna, 49
višinsko znamenje. *Glej* reper
vrednosti
  nominalne, 94, 146, 293
  ordinalne, 94, 294
vrh, 64, 76, 83, 87, 88, 89, 90, 91, 95, 128, 148, 150, 173, 188, 302
vrtača, 76, 89, 91, 129, 146, 188, 302
  dno, 83, 87, 88, 89, 128, 148, 150, 167, 283
  lažna, 93, 95, 152, 183
vzorčenje, 74, 80, 84, 213, 302
  kombinirano, 56, 84, 288
  Nyquistov teorem, 71, 84
  selektivno, 69, 84, 85, 86, 89, 178, 299
  stopnjujoče, 84, 85, 86, 88, 149, 178, 179, 300
vzorec, 50, 55, 82, 131, 132, 164, 198, 246, 254, 302

W

WGS84. *Glej* elipsoid

Z

zanesljivost, 116, 125, 130, 132, 163, 236, 258, 302
zbirka
  digitalnih podatkov reliefa (ZDPR), 35, 54, 59, 68, 77, 116, 122, 139, 140, 141, 143, 192, 199, 200, 202, 203–7, 307
  podatkov, 31, 32, 36, 57, 116, 139, 143, 192, 200, 303
ZDPR. *Glej* zbirka
zemljevid, 26, 288
  reliefni, 25
ZK, 307
  točke, 142, 158, 268
zlepek. *Glej* interpolacija
ZRC SAZU, 18, 36, 40, 42, 45, 307
zvezne vrednosti, 61, 64, 70, 74, 79, 82, 134, 141, 162, 173, 185, 211, 303