

## Prvý digitálny model reliéfu Slovenska DMR50 v rezorte ÚGKK SR

Miloslav Ofúkaný<sup>1</sup> a Matej Klobušiak<sup>2</sup>

### *DMR50 – the first digital terrain model of Slovakia in the GCCA SR sector*

*The digital terrain model (DTM) is a complex object of the Primary Database for The Geographic Information System (PD GIS). PD GIS is a component of the Automated Information System of Geodesy, Cartography and Cadastre. The EC initiative INSPIRE defines DTM as one basic element of the National Spatial Data Infrastructure (NSDI). The creation of NSDI is a task of the Action Plan of the Strategy of the Slovak Information Society. The range of the DTM vertical accuracy is described through the metadata. The metadata describes a product in a complex way. The GCCA SR will offer metadata and the solo product of DTM through its organization, the Geodetic and Cartographic Institute in Bratislava (GCI), via the Internet. For this purpose the GCI meaningfully build a webmap service, GCCA SR Geoportál, which is nearly related with the NSDI concept as well as with the projects of the Eurogeographics association. The paper describes the creation of DMR50, DTM of Slovakia, with the 50x50 meter grid. DMR50 was created by the data processing of the contour lines model from the Basic Map of the Slovak Republic 1:50 000. The testing of the DMR50 vertical accuracy was carried out by the set of geodetic points from the State Levelling Network. DMR50 is a suitable contribution of Slovakia to the creation of the EuroGeographics or INSPIRE-coordinated pan-European products.*

**Key words:** Contour lines model, digital terrain model, grid, histogram, INSPIRE, metadata, National Spatial Data Infrastructure, State Levelling Network, reference data, residual, Triangulated Irregular Network, vertical accuracy.

### Postavenie digitálneho modelu reliéfu v národných a európskych informačných systémoch

#### Štátny informačný systém

Podľa Zákona Národnej rady Slovenskej republiky č. 261/1995 Z. z. je Štátny informačný systém (ŠIS) sústava informácií a informačných činností, ktoré slúžia na plnenie úloh štátu, ak sa na ne použijú prostriedky zo štátneho rozpočtu Slovenskej republiky (SR). Zásadné úlohy v ŠIS plní Štatistický úrad SR (ŠÚ SR) a Rada vlády SR pre informatiku (RVI). Ďalšie úlohy v tejto oblasti plnia ministerstvá a ostatné ústredné orgány štátnej správy SR, v spolupráci s ktorými ŠÚ SR utvára systém obsahujúci informácie o častiach ŠIS z hľadiska obsahového, technologického a organizačného (metainformačný systém) a zabezpečuje jeho prevádzkovanie. RVI je odborným poradným orgánom vlády pre ŠIS a ďalšie úlohy informatiky, prerokúva koncepciu ŠIS, projekty medzirezortného charakteru a návrh štandardov pre ŠIS. Ústredné štátne orgány v rozsahu svojej pôsobnosti vypracúvajú, predkladajú a zodpovedajú za koncepcie a projekty častí ŠIS a pri príprave štandardov pre ŠIS spolupracujú so ŠÚ SR a Úradom pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo SR. Pri utváraní a prevádzkovaní ŠIS sú prevádzkovatelia povinní zabezpečovať uplatňovanie štandardov, ktoré sa vypracúvajú na základe medzinárodných technických noriem a metodík, ako aj slovenských technických noriem.

ŠIS je mnohoúrovňový hierarchický systém, ktorého existencia a kvalita značne ovplyvňuje efektívnosť strategických rozhodnutí orgánov štátnej správy (ŠS). ŠIS je otvoreným distribuovaným informačným systémom (IS), ktorý podporuje rozhodovací, poznávací a rozvojový proces na rôznych úrovniach riadenia SR (ÚGKK SR, 2002).

Ústredným orgánom ŠS SR pre geodéziu, kartografiu a kataster nehnuteľností je Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky (ÚGKK SR), ktorý je svojimi príjmami a výdavkami viazaný na štátny rozpočet. Na plnenie úloh, vyplývajúcich zo zákonov, ÚGKK SR zriadil a priamo riadi Geodetický a kartografický ústav v Bratislave (GKÚ), Katastrálny ústav v Žiline a Výskumný ústav geodézie a kartografie v Bratislave, ktoré majú celoslovenskú pôsobnosť (obr. 1). Miestnymi orgánmi ŠS na úseku geodézie, kartografie a katastra nehnuteľností sú katastrálne úrady, ktoré vykonávajú ŠS v územných obvodoch krajov, a správy katastra, ktoré vykonávajú ŠS v územných obvodoch celkoch (ÚGKK SR, 2003).

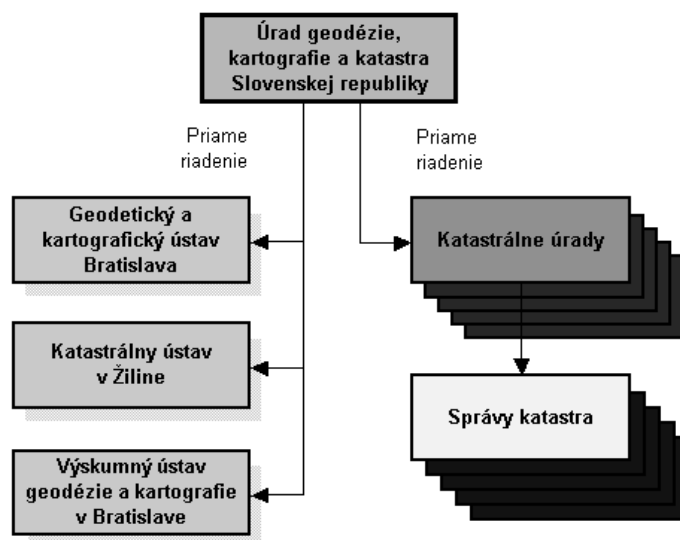
#### Automatizovaný informačný systém geodézie, kartografie a katastra

ÚGKK SR rozvíja úlohy v troch hlavných oblastiach: geodetických základoch (GZ), katastri nehnuteľností (KN) a štátnych mapových dielach (ŠMD). Na podporu rozvoja všetkých troch oblastí ÚGKK SR riadi tvorbu a prevádzkovanie Automatizovaného informačného systému geodézie, kartografie a katastra (AISGKK), ktorý

<sup>1</sup> Mgr. Miloslav Ofúkaný, Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky, Odbor geodézie, kartografie a geoinformatiky, Referát tvorby ZB GIS, Stromová 1, 837 86 Bratislava, tel.: 02/ 59374206, [ofukany@geodesy.gov.sk](mailto:ofukany@geodesy.gov.sk)

<sup>2</sup> Ing. Matej Klobušiak, PhD., Geodetický a kartografický ústav Bratislava, Projektovo-technický námestník riaditeľa, Chlumeckého 4, 827 45 Bratislava, tel.: 02/43427503, [klobusiak@gku.sk](mailto:klobusiak@gku.sk)  
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 11. 4. 2005)

je časťou ŠIS. AISGKK tvoria 3 subsystémy: Informačný systém geodetických základov (ISGZ), Informačný systém katastra nehnuteľností (ISKN) a Základnej bázy údajov pre geografický informačný systém (ZBGIS). Každý zo spomenutých subsystémov sa rozvíja podľa koncepcií, navrhnutých vždy na päťročné obdobie. Na centrálnej úrovni AISGKK spravuje GKÚ, ktorý zabezpečuje tvorbu a aktualizáciu ZBGIS



(ÚGKK SR, 2004).

Obr. 1 Organizačné členenie a hlavné kompetenčné vzťahy rezortu geodézie, kartografie a katastra nehnuteľností  
Fig. 1 Organisational structure and main competence correlations in the sector of geodesy, cartography and the cadastre of real estates

ZBGIS je objektovo orientovaná databáza priestorových štruktúr topografických objektov so zachovaním základných topologických a geometrických črt geografickej informácie. Geometria referenčných údajov je vedená v súradnicovom a výškovom systéme ETRS 89 a EVRS 2000. Obsahová podrobnosť je definovaná katalógom objektov (KO), so základnou obsahovou mierou podrobnosti Základnej mapy Slovenskej republiky 1:10 000 (ZM10). ZBGIS sa skladá z troch komponentov:

- digitálny model reliéfu (DMR, ang. DEM),
- 3D priestorová vektorová reprezentácia topografických objektov,
- digitálna ortofotomozaika.

KO pre ZBGIS obsahuje hmotné a nehmotné objekty reálneho sveta spolu s ich kvalitatívnymi informáciami. Ako východiskový bol použitý štandard DIGEST. Súčasná úroveň podrobnosti KO je konzultovaná a porovnávaná s KO ostatných relevantných správcov špecializovaných GIS. Primárnymi vstupnými údajmi pre ZBGIS sú údaje získavané technológiou digitálnej fotogrametrie (DF), ale sú aj rozpracované postupy na získanie údajov priamym geodetickým meraním. DF produkuje údaje rôznej geometrickej kvality z dôvodu využívania leteckých meracích snímok (LMS) rôznych mierok (ÚGKK SR, 2004).

### Infraštruktúra priestorových informácií v Európe

Začiatkom roka 2002 vznikla na pôde Európskej komisie iniciatíva INSPIRE (INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe - Infraštruktúra priestorových informácií v Európe), ktorá v prvom rade sledovala potreby environmentálnej politiky na lokálnej, národnej a medzinárodnej úrovni, no postupne sa rozšírila aj do ostatných sektorov hospodárstva. INSPIRE už v súčasnej dobe ponúka zásady sprístupnenia harmonizovaných (zjednotených) datasúborov, vizuálnej prehliadky priestorových javov pomocou prekrývania súborov dát a vytvárania spoločných modelov objektov v prostredí, pre ktoré sa zhromažďujú priestorové dáta, akými sú napr. digitálne modely reliéfu, dopravné siete, atď. (Čuláková, Ofúkaný, 2003).

Podľa Reference Data and Metadata Position Paper (2003) sa INSPIRE opiera o referenčné dáta, ktoré sú významovo buď sériou datasúborov (každý, kto narába s geografickými informáciami ich používa ako referencie svojich vlastných dát), alebo poskytujú spoločný spojovací článok medzi aplikáciami, či sú mechanizmom na zdieľanie poznatkov a informácií medzi ľuďmi. K definovaným geografickým referenčným dátam patrí aj nadmorská výška, ktorá by mala byť k dispozícii buď ako vrstevnicový model (výšky

pomocou izočiar), alebo ide o digitálny výškový model, v ktorom sú výškové kóty uvedené v pravidelnej mriežke (GRID).

K referenčným dátam neodmysliteľne patria ich príslušné metadáta (metaúdaje = informácie o obsahu, kvalite, stave a ďalších charakteristikách dát). Nástupom nových digitálnych technológií vstúpila do tvorby, aktualizácie, spracovania a používania DMR potreba hlbšej analýzy priestorovej spoľahlivosti a presnosti dát (Čuláková, Ofúkaný, 2003).

### Národná infraštruktúra priestorových informácií

INSPIRE a ďalšie projekty (napr. GINIE = Geographical Information Network in Europe) sú na Slovensku účinne podporované prostredníctvom budovania NGII (National Geographical Information Infrastructure), ktorá je v našich podmienkach skôr označovaná ako Národná infraštruktúra priestorových informácií Slovenska (NIPI SK).

Podľa Stratégie informatizácie spoločnosti v podmienkach SR a Akčného plánu (2003) je infraštruktúra priestorových informácií nevyhnutná pre uskutočňovanie cieľov informatizácie spoločnosti, pretože bezprostredne pôsobí na podporu a rozvoj elektronických služieb rozvíjajúcich obchod s geoinformáciami. Infraštruktúra priestorových informácií vytvára podmienky stimulujúce ponuku a dopyt po službách informačnej spoločnosti. Pod infraštruktúrou je možné chápať buď súbor technických a programových prostriedkov, ktoré sú potrebné pre zabezpečovanie poskytovania služieb informačnej spoločnosti, ale aj ako schopnosť používateľov tieto služby využívať (výpočtová technika, systémové prostredie, aplikácie, atď.), alebo ako komunikačné prostredie, potrebné pre zabezpečenie spojenia medzi poskytovateľmi služieb a ich používateľmi, či bezpečnostné prostriedky a technológie, ktoré slúžia na zabezpečenie služieb pred ich možným zneužitím. Informatizácia spoločnosti je chápaná ako koncepčne riadený proces smerujúci k maximálnemu využitiu potenciálu ponúkaného informačnými a komunikačnými technológiami (IKT) vo všetkých relevantných oblastiach spoločenského, politického a hospodárskeho života. Akčný plán je chápaný ako záväzný harmonogram činností vychádzajúcich z potrieb procesu informatizácie spoločnosti. V zmysle kompetenčného zákona ÚGKK SR zabezpečuje oblasť priestorovo orientovaných informačných systémov. Ide o vytvorenie základných systémových predpokladov tvorby národnej infraštruktúry priestorových informácií založených na georeferenčných základoch záväzných pre všetky ostatné geopriestorové informácie (GIS je len jednou z jeho častí). Medzi tieto základné referenčné systémy patria nové geodetické základy, definujúce záväzný súradnicový a výškový systém, referenčné údaje ZBGIS, komplexne popisujúce celú topografickú tému, systém informácií popisných a geodetických informácií katastra nehnuteľností vytvárajúce väzbu na vlastnícke práva k pozemkom a ako doplnok rastrové ekvivalenty kartografických diel mapového fondu. Iniciatíva EÚ INSPIRE teda môže pomôcť postaviť na týchto základoch nadrezortný systém priestorových informácií, tzv. NIPI SK.

NIPI má užívateľom poskytnúť integrované služby o priestorových informáciách, umožniť im interoperabilný spôsob ich použitia, vyhľadať, identifikovať a získať prístup ku geografickým informáciám od miestnej-lokálnej až po globálnu úroveň. Prvými možnými službami sú napr. vizualizácia informačných vrstiev, spájanie informácií z rôznych zdrojov. Ďalším krokom je aj ich priestorová a časová analýza. V súčasnosti sú priestorové dáta často v nevyhovujúcej alebo nedefinovanej kvalite, nie sú prístupné verejnosti alebo iným užívateľom.

ZBGIS je podstatnou súčasťou NIPI, lebo vytvára referenčnú kostru pre budovanie nadstavbových GIS a základ pre kartografickú tvorbu, primárne pre štátne mapové diela (ŠMD) a sekundárne pre komerčnú sféru na tvorbu tematických mapových produktov. Jeho údaje slúžia aj ako zdroj pre rôzne priestorové geografické analýzy a virtuálne vizualizácie územia.

Slovensko prispieva do programov združenia EuroGeographics digitálnym modelom reliéfu.

### Metodické prístupy pri štúdiu digitálneho modelu reliéfu

#### Terminológia

Pri štúdiu problematiky modelovania reliéfu existuje nejednoznačnosť vo výklade významov pojmov a skratiek (Čuláková, Ofúkaný, 2003). Z tohoto dôvodu je potrebné definovať:

1. **digitálny výškový model** – DVM (ang. digital elevation model – DEM) je digitálny model reliéfu, v ktorom sú za výškové údaje použité nadmorské výšky (Šíma, 2002). Digitálna reprezentácia plynulo sa meniacej hodnoty premennej na dvojrozmernom povrchu, zvyčajne reprezentovaná ako dvojrozmerné pole "z" hodnôt, vzťahnutých k spoločne definovanej polohe (Frank et al., 2000). Tento zaužívaný termín, popisujúci digitálne zobrazenie topografického povrchu. Skutočný povrch terénu môžeme modelovať prostredníctvom rôznych štruktúr napr. vrstevnicový model, štruktúra tvorená množinou diskretných bodov (výškové body) v podobe pravidelnej mriežky, v trojuholníkovom tvare - TINom, alebo v podobe nepravidelného bodového poľa, ležiacich na skutočnom teréne, ďalej líniami terénnych zlomov a plochami s rovnakými morfometrickými vlastnosťami (sklon, monotónnosť) atď. V DEM môžu byť tiež zahrnuté prvky zemského

- povrchu, ako napr. budovy a porasty. DEM môže byť dvojakého druhu: DTM a DSM (Reference Data and Metadata Position Paper, 2003).
2. **digitálny model terénu** – DMT (ang. digital terrain model – DTM) je digitálny model nadmorských výšok, definujúci prvotný zemský povrch. Vylučuje prvky zemského povrchu ako napr. budovy, lesy, atď (Reference Data and Metadata Position Paper, 2003). Slovo terén má korene vo vojenstve a spravidla sa tým rozumie zemský povrch (bez stavieb a vegetačnej pokrývky) vyjadrený na mape generalizovane topografickou plochou. Topografická plocha je definovaná spravidla formou výškových údajov uzlových bodov vhodne zvolenej siete, či mriežky (angl. grid) (Šíma, 2002).
  3. **digitálny model povrchu** – DMP (ang. digital surface model – DSM), zobrazuje vrchnú časť povrchu, vrátane budov, lesov, atď (Reference Data and Metadata Position Paper, 2003). Vyjadruje nielen zemský povrch, ale i povrch všetkých objektov na ňom (striech, korún stromov apod.). Vzniká pri automatizovanom vyhodnotení leteckých snímok na princípe obrazovej korelácie (Šíma, 2002).
  4. **digitálny model reliéfu** – DMR. DMR je digitálna prezentácia reliéfu spojená sa meniaceho v priestore (Čuláková, 2002). V českej kartografii sa používa výstižný termín reliéf, takže digital terrain model - digitální model reliéfu (DMR - túto skratku používa napr. geografická služba armády Českej republiky) (Šíma, 2002).
  5. **digitálny model územia** – DMU (ang. digital landscape model – DLM) predstavuje základnú bázu geografických dát a súbor programových prostriedkov ku zberu, spracovaniu, aktualizácii a distribúcii geografickej informácie o území (v Českej republike napr. ZABAGED a DMÚ25) (Šíma, 2002).
  6. **digitálny model krajiny** – DMK. Šíma (2002) považuje za nadbytočné zavádzať pre anglické označenie DSM pojem DMK. V ďalšom texte je používaný termín digitálny model reliéfu, čo zodpovedá charakteru našich vstupných dát, lebo nadmorské výšky sú vzťahované k zemskému povrchu.

Poznámka : Pri všetkých modeloch je potrebné rozlišovať či predmetný model vo výškovej zložke reprezentuje nadmorské výšky, teda vzťahované k modelu geoidu, resp. kvazigeoidu, alebo ide o elipsoidické výšky vzťahované k referenčnému elipsoidu. Ak budeme hovoriť o nadmorských výškach, potom s týmito výškami musíme uvažovať aj model geoidu resp. kvazigeoidu. Nadmorská výška nie je invariantná. Závisí od druhu nadmorských výšok. Elipsoidická výška nie je závislá od geofyzikálnych vlastností modelu Zeme.

### Typy digitálnych modelov reliéfu

Aj keď sa názory jednotlivých autorov na možnosti reprezentácie DMR líšia, existujú tri základné typy reprezentácie reliéfu (Voženilek, 2001):

- vrstevnice,
- TIN,
- Grid.

Tradičné vyjadrenie nadmorskej výšky zemského povrchu predstavuje metóda vrstevníc s doplnením významných výškových bodov. Toto vyjadrenie je však nespojité, pretože vrstevnice reprezentujú len vybrané nadmorské výšky (základný interval vrstevníc). K líniovému popisu reliéfu patria aj vertikálne profily, sieť údolnic a chrbátic. Líniová reprezentácia sa využíva predovšetkým v tradičných geomorfologických štúdiách na analógových mapách.

TIN (triangulated irregular network) patrí k vektorovým topologickým štruktúram. Vychádza z nepravidelnej trojuholníkovej siete, kde elementárnu geometrickú plochu zemského povrchu reprezentuje trojuholník. Výškové hodnoty sú priradené vrcholom trojuholníkov. V poli výškových bodov sú trojuholníky zvolené tak, že vo vnútri kružnice opísaného trojuholníku nesmie ležať žiadny iný bod. Ide o Delaunayovo kritérium. Výhodou tohto prístupu je, že hustotu vstupných bodov možno zmeniť podľa členitosti reliéfu (v členitejšom území použiť hustejšiu sieť a naopak) a tým trojuholníkovú sieť maximálne prispôsobiť reliéfu. Navyše, vizualizácia reliéfu pomocou TIN je názornejšia.

Model TIN má však i svoje nedostatky. V prípade, že sa TIN vytvára z vrstevníc môžu vzniknúť tzv. umelé terasy (väčšinou v okolí plochých údolí a chrbtov), ktoré znemožňujú následnú automatickú tvorbu línii odtoku alebo rozvodníc. Tento nedostatok možno odstrániť druhotným mechanickým vložением kritických bodov chrbátic a údolnic. Ďalšou nevýhodou je, že k modelovaniu a analýze nemožno použiť mapovú algebru.

Grid sa radí k pravidelným rastrovým štruktúram, v ktorých je povrch diskretizovaný do matice buniek. Najčastejším tvarom buniek je štvorec. Gridu sa dáva prednosť pre väčšiu jednoduchosť výpočtových algoritmov, ale je možné použiť aj obdĺžnik, šesťuholník alebo rovnostranný trojuholník. Každá bunka nesie hodnotu nadmorskej výšky, ktorá sa vzťahuje k stredu bunky (grid) alebo k uzlu mriežky (potom sa hovorí o lattice) vytvorenej bunkami. Predpokladá sa, že premenlivosť medzi jednotlivými bunkami je matematicky kontinuálna, takže je možné ľahko vykonávať štatistické analýzy pri použití mapovej algebry. Mapová algebra

umožňuje vykonávať rôzne operácie na pravidelných štruktúrach (teda vrátane grid a lattice) rovnakým spôsobom ako sú vykonávané na dvoch číslach.

Grid a TIN nemožno považovať za pravé trojdimenzionálne (3D) údajové modely. Hodnota výšky z je v nich definovaná ako pseudoatribút vzťahnutý k polohe určenej súradnicami x, y. Preto je v literatúre skôr používané označenie 2,5D. Skutočné 3D objekty možno digitálne zaznamenať pomocou tzv. voxelu, kedy je objekt zložený z elementárnych 3D prvkov, najčastejšie hranolov. Ich využitie v geografických vedách je zatiaľ z dôvodov výpočtovej náročnosti obmedzené.

## Metódy priestorovej interpolácie

Do procesu tvorby DMR vstupujú najčastejšie diskkrétne výškové body s rôznou hustotou a rozložením. Na odhad hodnôt, ak nie sú k dispozícii dáta a na nasledovné generovanie DMR sa používajú najrôznejšie interpolačné metódy. Pri výbere interpolačnej metódy sa zvažuje viacero faktorov, napr. druh interpolačného javu, charakter povrchu (výšková a horizontálna členitosť, terénne hrany a pod.) alebo účel DMR. Výber optimálnej interpolačnej metódy je do značnej miery subjektívny a môže veľmi ovplyvniť parametre výsledného DMR.

Voženilek (2001) uvádza 4 metódy priestorovej interpolácie: metóda vážených štvorcov inverznej vzdialenosti, trend, splajn, kriging.

Metóda vážených štvorcov inverzných vzdialeností (IDW – Inverse Distance Weighting) sa používa na určenie nadmorských výšok buniek gridu s využitím váženého priemeru. Interpolovaná hodnota nadmorskej výšky bunky z je vypočítaná z nadmorských výšok bodov ležiacich v určenej vzdialenosti od stredu bunky. Metóda IDW ako lokálne interpolačná metóda pracuje na princípe filtrovacieho okienka počítajúceho priemernú hodnotu výšky z bodu v okolí. Vyhľadávací polomer definuje body, ktoré budú zahrnuté do procesu interpolácie.

V prípade spojitej vlastnosti v priestore možno body interpolovaného povrchu vypočítať polynomicou funkciou, tzv. trendom. Interpolácia trendom prispôsobuje povrch množine bodov pri použití viacnásobnej (polynomickej) regresie. Najvhodnejšie koeficienty pre daný polynóm n-tého rádu sa vyberajú metódou najmenších štvorcov. Povrch môže byť rovinou (lineárny regresný model – polynóm I. rádu) alebo plochou zložitého telesa (polynóm vyššieho rádu). Výsledný povrch neprechádza žiadnym zo vstupných bodov. Zvyšovaním stupňa polynómu možno vystihnúť zložitejšie tvary a redukovať náhodnú zložku. Je tu ale vyššia pravdepodobnosť výskytu chýb (a tým aj väčších odchýliek) na krajoch územia alebo v územiach mimo meraní.

Metóda splajnov využíva matematicky definované krivky, ktoré po úsekoch interpolujú jednotlivé časti povrchu. Výsledný povrch má minimálnu krivosť. Pre interpoláciu povrchov sa používajú tzv. bikubické splajny – pravidelný (ktorý vytvára hladšie povrchy) a tesný (ktorý vytvára členitejší povrch, tesne sa primyká k vstupným bodom). Výhodou tejto metódy je, že sa môžu modifikovať časti terénu bez toho, aby sa musel prepočítavať povrch. Nevýhodou však je, že výsledný reliéf je nerealisticky hladký vďaka vyhladeniu bariér a skokov. Najlepšie výsledky dosahuje pri interpolácii veľmi hladkých povrchov znázorňujúcich napr. klimatické javy. Často sa používa k vyhladzovaniu povrchov.

Kriging patrí medzi geoštatistické metódy, vychádza z predpokladu, že susedné body sú priestorovo autokorelované. Interpolovaný povrch je tvorený tromi zložkami: driftom (všeobecný trend povrchu, ktorý závisí od zmeny súradníc), regionalizovanou premenou (kolísanie, ktorého podstatu nemožno vyjadriť matematickou funkciou, ale ktoré sa vyjadruje určitou priestorovou koreláciou) a náhodnými šumami (odchýlkami, ktoré nie sú priestorovo korelované a nemôžu sa spočítať). Tieto zložky sú definované pomocou variogramu, ktoré poskytujú kvantifikáciu korelácie ľubovoľnými dvoma premennými. Túto kvantifikáciu kriging využíva k zberu a aplikácii najvhodnejších interpolačných procedúr. Kriging je exaktná metóda interpolácie a pokiaľ nie je podiel šumu veľký, poskytuje veľmi presné výsledky. Výpočtovo je však značne náročný.

## Presnosť digitálnych modelov reliéfu

V úvode príspevku bolo uvedené, že pre charakteristiku referenčných dát sú dôležité metadáta – údaje, popisujúce dáta a produkt ako celok. Tvorca DMR preto potrebuje používateľovi povedať, aké dáta má k dispozícii, na aký účel môžu byť použité, aká kvalita bola pri spracovaní dosiahnutá.

V priestorových dátach sú obsiahnuté neurčitosti a chyby a tieto môžu ovplyvniť výsledky analýzy údajov a modelovania. Takéto chyby sa môžu dostať do dát v rôznych štádiách spracovania geografických informácií, od merania priestorového prostredia až po jeho prezentáciu v prostredí GIS. Kvalitu priestorových údajov vo všeobecnosti môžeme popísať nasledujúcimi atribútmi (Frank et al., 2000):

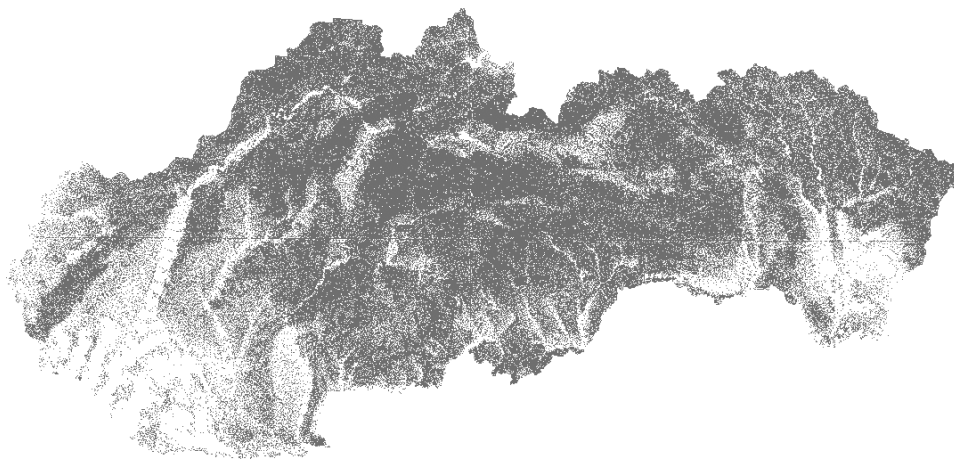
- pôvod priestorových dát – opis zdroja a použitej metódy odvodenia,
- polohová presnosť (horizontálna a vertikálna) – závislosť od skúseností pri meraní, použitých metód a výberu mapovej projekcie,
- atribútová presnosť – zmena daného javu, presnosť meracieho prístroja a merania,

- kompletnosť – opis vzťahov medzi objektmi,
- logická konzistencia – vernosť vzťahov zakódovaných v údajovej štruktúre digitálnych priestorových dát,
- sémantická presnosť – význam geografického objektu v realite,
- časová informácia – dátum pozorovania, typ aktualizácie, časové obdobie platnosti záznamu priestorových dát (expiračná doba).

Tvorba a testovanie presnosti digitálneho modelu reliéfu Slovenska DMR50

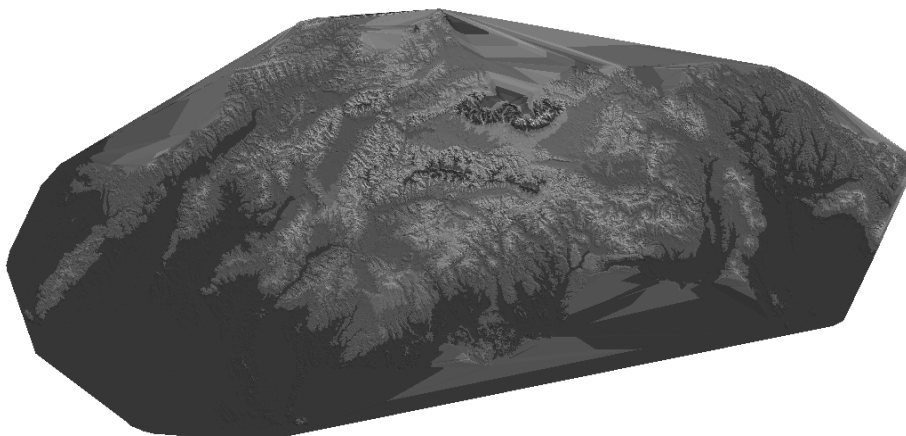
DMR 50 - digitálny model reliéfu Slovenskej republiky s krokom 50x50 metrov, bol vytvorený v októbri 2002 na oddelení rozvoja a medzinárodnej spolupráce GKÚ Bratislava, zdokumentovaný v technickej správe (Ofúkaný, 2003). V nej sú podrobnejšie popísané rozdiely presnosti DMR v závislosti na veľkosti gridu.

Podkladom pre vznik DMR50 bola vrstevnicová štruktúra (obr. 2) vo formáte \*.shape, reprezentovaná vektormi vrstevníc zo 137 Základných máp Slovenskej republiky 1:50 000 (ZMSR 50) v Křovákovi zobrazení (S-JTSK), pochádzajúca z oddelenia správy ZBGIS na GKÚ Bratislava. Tvorilo ju 330 425 polyčiar s nadmorskou výškou od 95 do 2420 metrov.



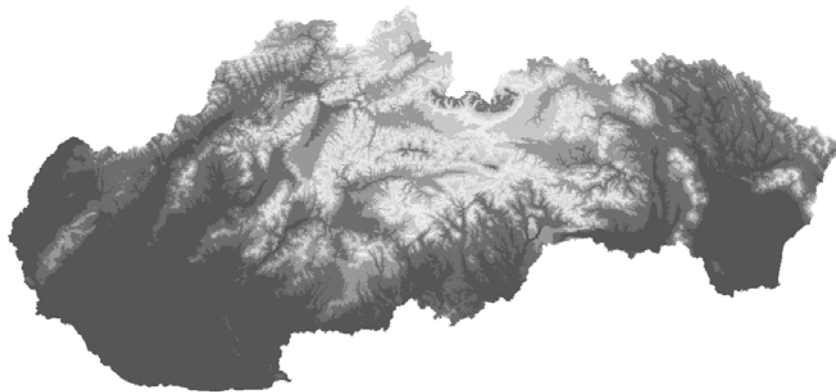
Obr. 2. Vrstevnicová štruktúra DMR50  
Fig. 2. Structure of contour lines of DMR50

Z vrstevnicového modelu bol v programovom prostredí Arc View GIS 3.2 pomocou nadstavby 3D Analyst v.1.0 automatizovane vygenerovaná TIN štruktúra DMR50 (obr. 3), ktorá je charakterizovaná 23 507 991 vrcholmi a 47015937 trojuholníkmi.



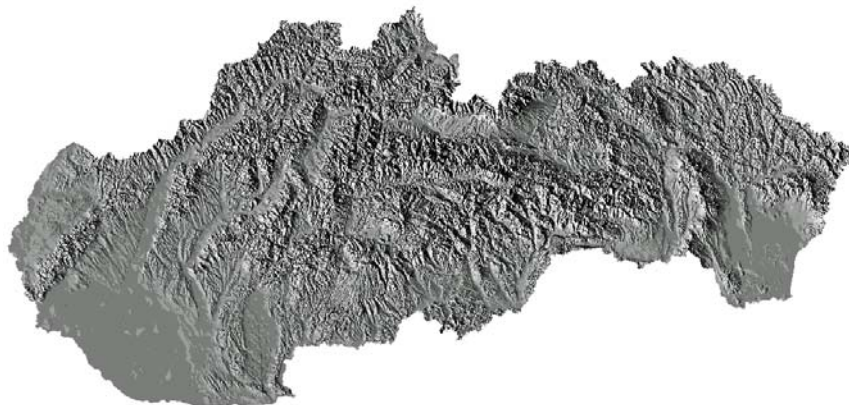
Obr. 3. TIN štruktúra DMR50  
Fig. 3. TIN structure of DMR50

Aby sme mohli vykonať analýzu presnosti DMR50, z TIN modelu bol vytvorený GRID model. Táto konštrukcia vyžadovala presné zadanie veľkosti štvorca a súčasne prepočet počtu radov a stĺpcov mriežky. Zostrojili sme GRID štruktúru DMR50 s bunkami 50x50 metrov (pracovné označenie GRID50), ktorá mala mriežku zloženú zo 4042 riadkov a 8521 stĺpcov. Grafická reprezentácia 49 farebnými intervalmi nám dovolila jemnejšie vystihnúť priebeh horských chrbtov a riečnych dolín, čo je zachytené na obrázku 4.



Obr. 4. GRID štruktúra DMR50  
Fig. 4. GRID structure of DMR50

Nad GRID modelmi je možné ďalej vytvárať tieňovaný reliéf, generovať odvodené vrstevnice, počítat svahovitosť a orientáciu reliéfu. Pre lepšiu vizualizáciu členitosti územia Slovenska bola využitá metóda tieňovaného reliéfu. Z GRID50 bola vytvorená tieňovaná štruktúra DMR50 (pracovné označenie TIEN50) s azimutom Slnka 250° a jeho výškou 60° nad obzorom, ktorá je zobrazená na obrázku č. 5.



Obr. 5. Tieňovaná štruktúra DMR50  
Fig. 5. Hillshade structure of DMR50

Prekrytím modelu GRID50 (vhodné je predefinovať pôvodnú farebnú škálu) vrstvou TIEN50 vznikla tzv. kompozitná štruktúra DMR50 (obr. 6), v ktorej vystupuje aj nadmorská výška aj postavenie horských masívov voči Slnku.

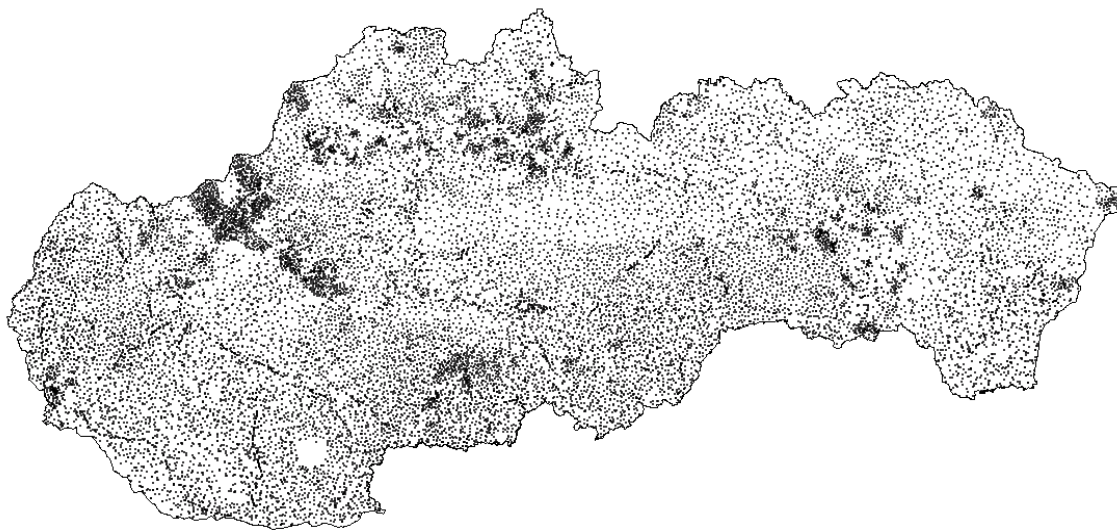


Obr. 6. Kompozitná štruktúra DMR50  
Fig. 6. Composite structure of DMR50

### Testovanie presnosti DMR50

Na testovanie presnosti DMR50 boli použité body referenčného výškového systému Balt po vyrovnaní (Bpv). Na základe známych horizontálnych súradníc (x,y)S-JTSK 22 443 bodov, dodaných z odboru geodetických základov GKÚ Bratislava, boli pre tieto body vyinterpolované nadmorské výšky z DMR50

pomocou príkazu v Avenue (programovací jazyk v ArcView GIS 3.2). Z nich bolo 186 bodov vyradených, pretože sa nachádzali blízko štátnych hraníc a nebolo možné vykonať spoľahlivú interpoláciu nadmorských výšok. Do testu teda postúpilo výsledných 22 257 bodov Bpv, ktorých priestorové rozmiestnenie zachytáva obrázok 7.



Obr. 7. Priestorové rozmiestnenie referenčných geodetických bodov pre testovanie presnosti DMR50  
Fig. 7. Spatial distribution of geodetic reference points for DMR50 accuracy test

Pre všetky body boli vypočítané sme rozdiely (ďalej rezíduá) medzi geodeticky určenými bodmi a DMR50 zo vzťahu:

$$\Delta Z = ZK - ZG,$$

kde  $\Delta Z$  – rezíduum,  
ZK – výška bodu DMR50,  
ZG – výška geodeticky určeného bodu, a súčasne platí:

- ak  $ZK > ZG \Rightarrow$  kladné rezíduum = DMR je nad reálnym stavom,
- ak  $ZG > ZK \Rightarrow$  záporné rezíduum = DMR je pod reálnym stavom.

Kompletný prehľad rezíduí (zvyškov) medzi vyinterpolovanými nadmorskými výškami nad gridom DMR50 (pracovné označenie REZ50) a skutočnými výškami v bodoch Bpv je uvedený v tabuľkovej prílohe technickej správy (Ofúkaný, 2003).

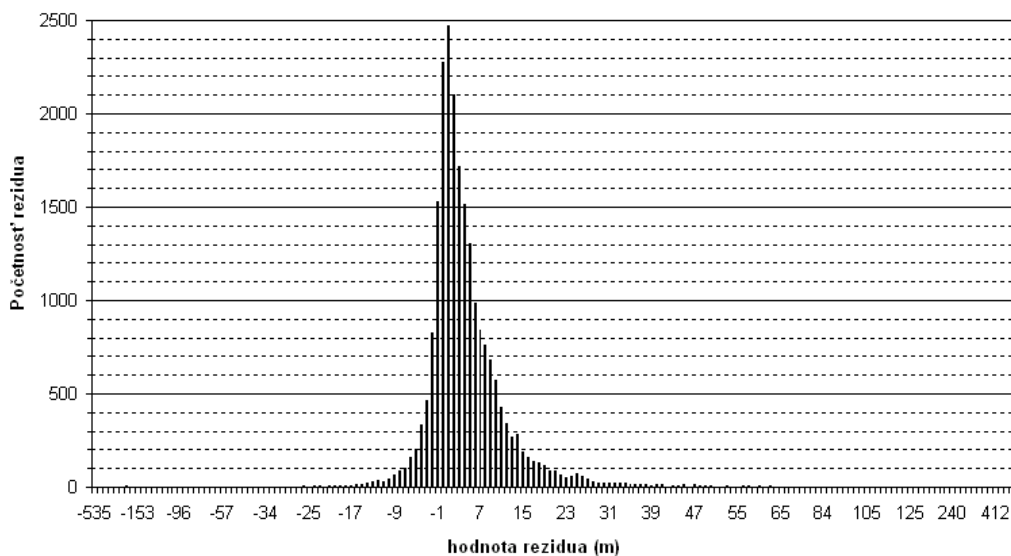
### Štatistické výsledky

Histogram rezíduí REZ50 je znázornený na obrázku 8. Má široké variačné rozpätie (-535 až 520) m. V tabuľke 1 sú uvedené základné charakteristiky testu presnosti DMR50. 124 rezíduí s absolútnymi rozdielmi 50 a viac metrov (obr. 9) má výskyt od 123 do 2 654 (57,26 % do 1 000; 20,97 % 1 000-2 000; 21,77 % nad 2 000) metrov nad morom. Z tabuľky 1 vidieť, že pri zužovaní variačného rozpätia zo všetkých bodov do piatich absolútnych metrov sa priemer rezíduí znižuje. Efekt lokálneho extrému, ktorý vyskočil v hodnote 1, sa prejavil pri 2 468 bodoch Bpv (obr. 10). Z nich 67 % sa nachádza v nadmorských výškach 97 až 277 m nad morom. Stredná hodnota množiny všetkých rezíduí DMR50 je 2,67.

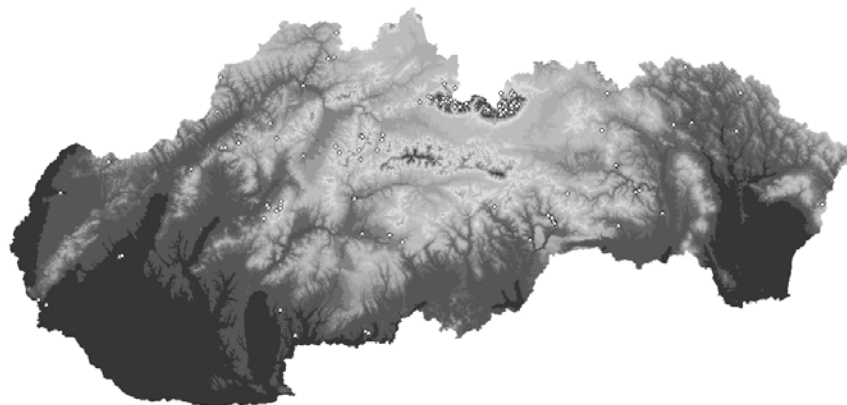
Tab. 1. Základné charakteristiky testu presnosti DMR50  
Tab. 1. Basic characteristics of the DMR50 accuracy test

Rezíduá	Všetky	Menšie 50 [m]	< 10 [m]	< 5 [m]
Počet bodov	22257	22131	18421	13229
Priemer rezíduí [m]	4,43	4,15	2,09	0,91
Štandardná odchýlka [m]	14,04	7,19	3,49	0,02
Minimálne rezíduum [m]	-535	-48	-9	-4
Maximálne rezíduum [m]	520	49	9	4

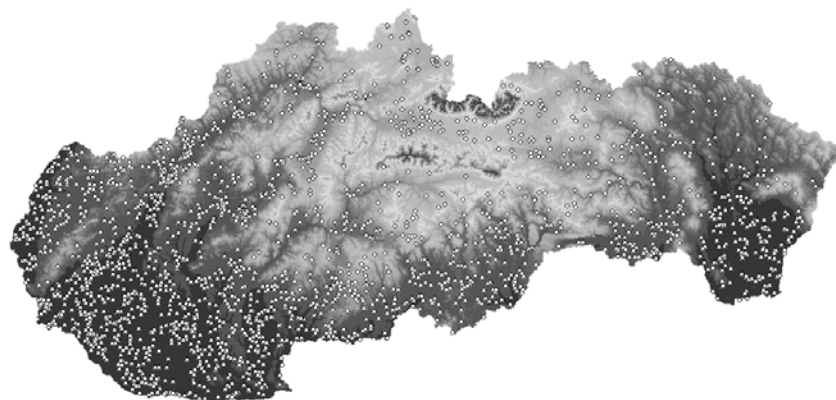




Obr. 8. Histogram reziduí DMR50  
Fig. 8. Histogram of the DMR50 residues



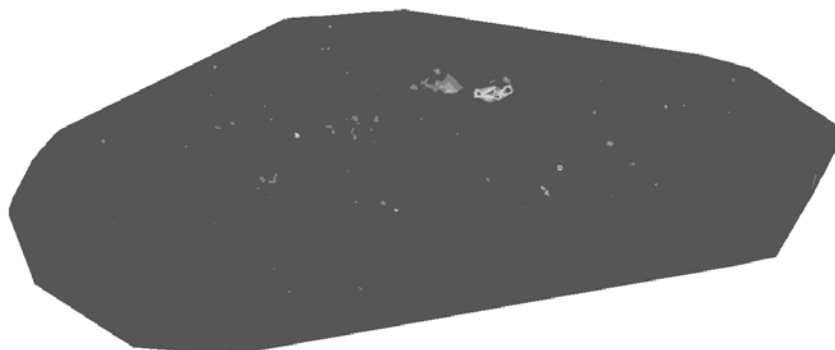
Obr. 9. Reziduí DMR50 ≥ 50 metrov  
Fig. 9. Residues of the DMR50 ≥ 50 metres



Obr. 10. Reziduí DMR50 = 1 meter  
Fig. 10. Residues of the DMR50 = 1 metre

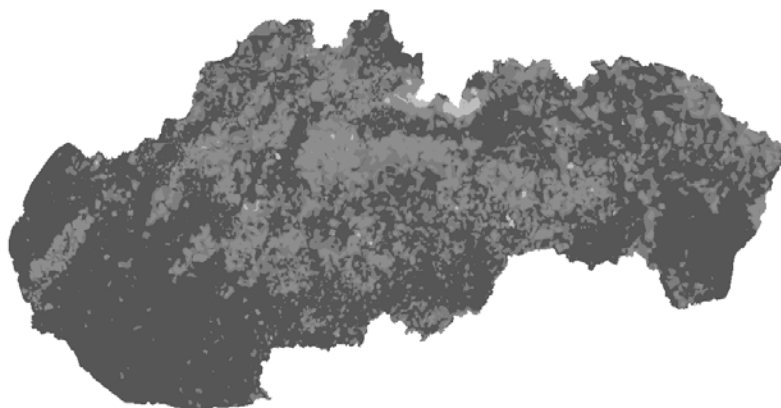
### Priestorové a plošné výsledky

Na vyjadrenie priestorového rozloženia reziduí bol použitý princíp gridovania. Vstupnou údajovou množinou bol súbor 22 257 bodov Bpv, v ktorom v daných horizontálnych súradniciach (x,y)S-JTSK bola nadmorská výška nahradená absolútnou hodnotou rezidua (pracovné ozn. AREZ50). Bola zostrojená TIN štruktúra reziduí DMR50 (obr. 11) s 22 173 vrcholmi a 44 316 trojuholníkmi.



Obr. 11. TIN štruktúra reziduí DMR50  
Fig. 11. TIN model of DMR50 residues

Následne bola vytvorená GRID štruktúra reziduí DMR50 (obr. 12) so štyrmi intervalmi (do 5 metrov, 5 až 10, 10 až 50, nad 50 metrov). Prevedením rastra (GRID) na vektor (SHAPE) je možné vypočítať, že zo 49 032 134 882,22 m<sup>2</sup> plochy SR (podľa Spojitej vektorovej mapy 1:50 000) má 53,72 % územia Slovenska reziduá menšie ako 5 metrov (tab. 2). Pri detailnejšom skúmaní intervalu <0;5) bolo zistené, že pri zaokrúhlení na celé jednotky plošne najrozšírenejším (13,94 % SR) je rezíduum 1 (tab. 3). Situáciu zobrazuje podrobnejšia GRID štruktúra reziduí DMR50 na obrázku 13.



Obr. 12. GRID štruktúra reziduí DMR50  
Fig. 12. GRID model of DMR50 residues

Tab. 2. Plocha reziduí DMR 50  
Tab. 2. Surface area of DMR50 residues

Rezídua [m]	% zo SR
<0;5)	53,72
<5;10)	27,66
<10;50)	17,65
<50;533)	0,56
mimo GRID 50Bpv	0,40

Tab. 3. Plocha reziduí do 5 metrov pre DMR 50  
Tab. 3. Surface area of DMR50 residues less than 5 metres

Rezíduum	Interval [m]	% zo SR
0	0,00 - 0,49	3,12
1	0,50 - 1,49	13,94
2	1,50 - 2,49	12,84
3	2,50 - 3,49	10,45
4	3,50 - 4,49	9,15
5	4,50 - 5,49	8,12



Obr. 13. Podrobnejšia GRID štruktúra rezíduí DMR50  
Fig. 13. GRID detailed model of DMR50 residues

Dôležitým ukazovateľom kvality digitálneho modelu reliéfu sú aj absolútne hodnoty rezíduí podľa špecifickej nadmorskej výšky, ktoré sú pre DMR50 uvedené v tabuľke 4, v ktorej plocha v % vyjadruje relatívne zastúpenie plochy výškového stupňa z celkovej rozlohy Slovenska. Mimo GRID50 leží takmer 0,09 % územia Slovenska.

Tab. 4. Absolútne hodnoty rezíduí podľa špecifickej nadmorskej výšky pre DMR50  
Tab. 4. Absolute values of DMR50 residues according to the specific sea level height

Nadmorská výška [m]	Plocha [%]	GRID50	
		počet bodov	priemer AREZ
<95;200)	26,17	5887	2,1
<200;300)	15,11	3722	3,8
<300;400)	10,97	2480	6,7
<400;600)	19,49	4354	7,3
<600;800)	14,80	2906	8,3
<800;1000)	8,03	1660	8,8
<1000;1200)	3,07	710	11,5
<1200;1500)	1,49	375	13,9
<1500;1800)	0,52	94	27,9
<1800;2421)	0,26	69	85,9

## Výstupy a publikovanie digitálneho modelu reliéfu

### Metaúdaje

Metaúdaje (údaje o údajoch) sú nedeliteľnou súčasťou všetkých údajových súborov, ich častí, prvkov, ale aj služieb, procesov a personálu, ktorým sú tieto údaje poskytované. Metaúdaje sú nutným elementom v rozhodovacom procese o využiteľnosti služby a pri posudzovaní kvality produktu, ktorý jej prostredníctvom je organizácia schopná poskytnúť. Ak si chce rezort ÚGKK SR, prostredníctvom špecializovanej organizácie – GKÚ Bratislava, zachovať jedinečné miesto v poskytovaní služieb verejnosti, musí mať zabezpečený fungujúci informačný systém o existujúcich údajových fondoch, i ku kvalite, lokalizácii, pravidlách prístupu k nim. Údaje z tohto systému by mali byť voľne k dispozícii verejnosti, aby klienti mali jednoduchý prístup k informáciám o produktoch, ktoré by mohli využiť (Tomko et al., 2003).

V rezorte ÚGKK SR sa buduje koncepcia tvorby metaúdajového informačného systému, čoho príkladom je technická správa špecialistov GKÚ Bratislava: ÚMIS – Ústavný metainformačný systém (koncepcia, prístup, architektúra). Údaje v tomto systéme musia byť poskytované v kvalite, ktorá zabezpečí ich interoperabilitu s podobnými službami nielen v SR, ale v rámci medzinárodných aktivít, ako sú INSPIRE (na podklade normy ISO 19115), či EuroGeographics (štruktúra NewGDDD v projekte EuroMapFinder – Metadata). To znamená, že obsah metaúdajov o každej popisovanej položke musí byť štruktúrovaný podľa existujúcich štandardov (so štruktúrou dokumentovanou na verejnom mieste) a poskytovaný vo všeobecne akceptovanom formáte, a to bezplatne.

K doteraz nepopísaným produktom ÚGKK SR (archív, mapová služba, skenovanie štátneho mapového diela) sa zbierajú metaúdaje do prechodných databáz, príkladom je SYMID – Systém metainformačnej databázy

(Lacena, 2004). Zámerom je, aby aj digitálne modely reliéfu boli popísané komplexnými metaúdajmi, pričom vyššie uvedené štatistické ukazovatele sú len prvým príkladom.

### Väzby na štandardy a projekty

História archivovania metaúdajov o archívnych súboroch je veľmi dlhá a začala aktivitami v oblasti archívniectva. Knižničné systémy potrebovali dokumentovať údaje o fondoch a vyvinuli štandard, popisujúci špecifické údaje týchto fondov. Takto vznikla Dublin Core Initiative, ktorej štandard popisuje minimálne (tzv. core) dáta o dátových súboroch. V počiatkoch aktivít smerujúcich k popísaniu geografických súborov bol tento štandard za základom. Neskôr boli vyvíjané štandardy „ťahané“ iniciatívami, ktoré sa snažili zvýšiť objem vymenených dát a zefektívniť elektronický obchod s geografickými údajmi. Najpokročilejšia iniciatíva je združená okolo US Geological Survey a Federal Geographic Data Committee, ktorá vypracovala tzv. CS – Content Standard. Európa sa snažila dohnať zameškané a vypracovala v rámci štandardizačných aktivít CEN/TC287 pre geografickú informáciu predbežnú normu CEN ENV 12657. Štandard CEN bol pokusne implementovaný v niekoľkých európskych krajinách, ale širšieho rozšírenia sa nikdy nedočkal. Séria ISO 191xx bola vyvíjaná v spolupráci s OpenGIS konzorciom, pričom OGC prevzalo abstraktný model ISO a ISO prevzalo špecifikácie na výmenu priestorových údajov a mapový a prvkový server. Norma ISO 19115 – Metadáta sa tak dostala do popredia a už počas posledných mesiacov práce na nej jej bola vyslovená silná podpora v GIS komunite. Rovnako, spolupráca s OGC zabezpečuje, že tento štandard bude široko implementovaný v komerčných GIS distribúciách, metaúdajových nástrojoch a pod. Skupina CEN/TC287 okamžite po svojom oživení v novembri 2003 (za aktívneho prispenia SR a GKÚ Bratislava) vyjadrila pranie plne včleniť rodinu ISO do normatívo CEN ako ISO CEN normy (teda prevzatie v zrýchlenej procedúre v úplnom znení bez zmien). CEN bude naďalej pôsobiť ako koordinátor medzi jednotlivými SDI iniciatívami v Európe (INSPIRE, EuroGeographics), pre ktoré bude presadzovať implementáciu noriem ISO 191xx a zabezpečovať rady a návody, ako postupovať pri ich zavádzaní (Tomko et al., 2003).

### Webová mapová služba

**TESTOVACIA PREVÁDZKA**

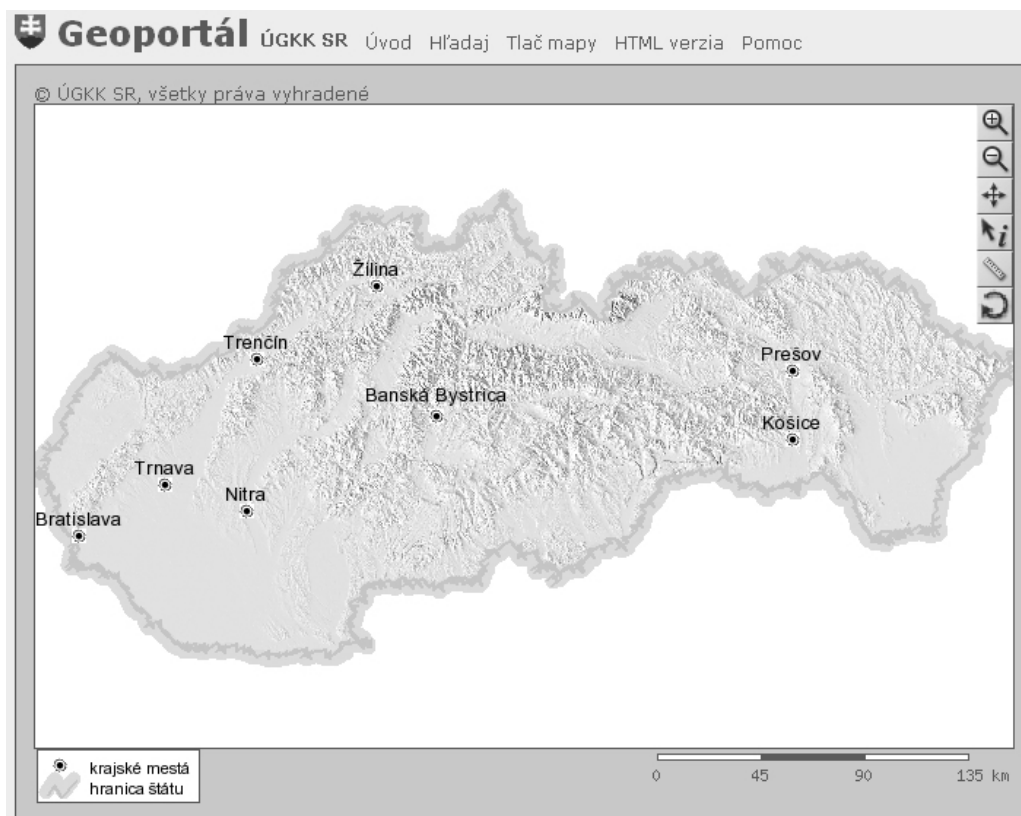
**JAVA verzia** - nutná nainštalovaná JAVA. Vysoký stupeň interaktivity, pohodlné rozhranie s maximom funkcií. Otestujte si JAVU.  
**HTML verzia** - pre všetky grafické prehliadače, neobsahuje niektoré funkcie JAVA rozhrania, zaručená funkčnosť pre všetky prostredia, najvyššia rýchlosť, postupné načítanie mapy

Prehľad produktov	Geodetické základy	Klady štátneho mapového diela	Spojité vektorové mapa SVM50	ZB GIS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• - Spojitá vektorová mapa - SVM50</li> <li>• - Geodetické základy - SK POS</li> <li>• - Geodetické základy - ŠPS</li> <li>• - Geodetické základy - SNS</li> <li>• - Geodetické základy - ŠTS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• - Digitálny model reliéfu - DMR</li> <li>• - Digitálny model kvázigeoidu - DMQ</li> <li>• - Rastrová mapa 1:10 000</li> <li>• - Rastrová mapa 1:50 000</li> <li>• - Rastrová mapa 1:100 000</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>JAVA verzia HTML verzia</li> <li>Zobrazenie referenčných bodov Geodetických základov určených v špecializovaných štátnych sieťach, s vybranými informáciami o lokalizácii, o meračských zariadeniach s fotografiou bodu.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>JAVA verzia HTML verzia</li> <li>Zobrazenie vrstiev SVM50: lesy, vrstevnice, vodné plochy a toky, cesty všetkých tried, zástavba, hranice územných celkov (KÚ, obce, okresy, kraje) a ďalších.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>JAVA verzia HTML verzia</li> <li>Zobrazenie ukázkového územia Prešov pripravovanej Základnej bázy GIS a postupu prác spracovania.</li> </ul>

Obr. 14. Úvodná internetová stránka GeoPortálu ÚGKK SR  
 Fig. 14. GCCA SR GeoPortal preliminary website

ÚMIS má zámer stať sa súčasťou pripravovanej progresívnej rezortnej webovej mapovej služby, pomocou ktorej budú prostredníctvom internetu publikované údaje o všetkých produktoch, ich cenách a spôsobe objednania. Na zefektívnenie prístupu k informáciám a naplnenie zmyslu zákonov o „slobodnom prístupe k informáciám“ a „verejnom katastri“, vznikla na pôde GKÚ Bratislava MapServer aplikácia – Geoportál ÚGKK SR (obr. 14), ktorej testovacia prevádzka začala 11. októbra 2004.

DMR50 – digitálny model reliéfu Slovenska s krokom 50x50 metrov, ktorý je určený ako príspevok Slovenska do spoločných produktov združenia EuroGeographics (napr. EuroSpec), iniciatívy INSPIRE a iných medzinárodných projektov, je si možné vizualizovať cez Geoportál ÚGKK SR (obr. 15) a získať jeho dostupné metaúdaje o štrukturovanej kvalite, spôsobe objednania a cene.



Obr. 15. Prezentácia DMR50 na Geoportáli ÚGKK SR  
 Fig. 15. DMR50 presentation on the GCSA SR GeoPortal

### Literatúra-References

- Čuláková K., Ofúkaný M.: Presnosť digitálneho modelu reliéfu územia PVOD Kočín. In: Pozemkové úpravy v podmienkach EÚ, *Pedagogické listy 10/2003*, KMPÚ Stavebná fakulta STU Bratislava 2003
- Čuláková, K.: Konceptuálny model územia a jeho geocharakteristiky kvality. *Diplomová práca*, STU Bratislava 2002.
- Frank, A. U., Raubal, M., Van der Vlugt, M.: Panel-GI Compendium Aguide to GI and GIS. *INCO-COPERNICUS project no. 977136. Genova - Italy (European Commission) 2000, pp. 63-76.*
- Lacena, M.: SYMID – metainformačný systém. *Technická správa, GKÚ Bratislava 2003.*
- Ofúkaný, M.: Analýza presnosti digitálneho modelu reliéfu Slovenska zo Spojitej vektorovej mapy 1:50 000. *Technická správa, GKÚ Bratislava 2003.*
- Reference Data and Metadata Position Paper (2003), <http://inspire.jrc.it>
- Stratégia informatizácie spoločnosti v podmienkach SR a Akčný plán (2003), <http://www.telecom.gov.sk/informatizacia/docpdf/strategia.pdf>
- Šíma, J.: Musíme používať pracovný slang při prezentáciách a v publikáciách o geografických informačných systémoch?. In: sborník z konferencie GIS Ostrava 2002, *Ostrava 2002, ISSN 1213-239X.*
- Tomko, M., Ofúkaný, M., Lacena, M., Čukan, J.: ÚMIS – Ústavný metainformačný systém (konceptia, prístup, architektúra). *Technická správa, GKÚ Bratislava 2003.*
- ÚGKK SR: Konceptia tvorby, aktualizácie a správy Základnej bázy geografického informačného systému do roku 2005 [P-506/2002]. *Bratislava, 1.2.2002.*
- ÚGKK SR: Geodézia, kartografia a kataster nehnuteľností v Slovenskej republike. *Bratislava, máj 2003.*
- ÚGKK SR: National report of the Slovak republic. [Správa] *EuroGeographics 2004 General Assembly, Athens, Bratislava, október 2004.*
- Voženílek, V.: Integrace GPS/GIS v geomorfologickém výzkumu. *Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta Olomouc 2001.*
- Zákon Národnej rady Slovenskej republiky č. 261/1995 Z. z. o štátnom informačnom systéme zo 14. novembra 1995.